

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid  
Grado en Fundamentos de la Arquitectura  
Trabajo Fin de Grado

*Superficies horizontales captadoras de energía*  
*Carreteras solares*



Autora: Elia Ruiz Fernández  
Tutor: Manuel Rodríguez Pérez  
Aula 2 TFG  
Coordinador: Francisco Javier García-Gutiérrez Mosteiro  
Adjunta: Consuelo Acha Román  
Martes 13 de junio de 2017









Superficies horizontales captadoras de energía. Carreteras solares



Elia Ruiz Fernández

*Superficies horizontales captadoras de energía*  
*Carreteras solares*

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid

2017

Universidad Politécnica de Madrid

Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

Trabajo Fin de Grado

Título: Superficies horizontales captadoras de energía. Carreteras solares

Autora: Elia Ruiz Fernández

Tutor: Manuel Rodríguez Pérez

Aula 2 TFG

Coordinador: Francisco Javier García-Gutiérrez Mosteiro

Adjunta: Consuelo Acha Román

Madrid, martes 13 de junio de 2017

## RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

La demanda de energía va en aumento mientras el modelo energético sigue basado en los perjudiciales combustibles fósiles, cuyas reservas además se están agotando. Es imprescindible facilitar la ya muy necesaria transición energética impulsando las fuentes de energía renovables y respetuosas con el medioambiente de forma coherente y de la mano de proporcionar una mayor eficiencia. Acercar la producción al punto de consumo abaratando costes en cableado y no malgastando energía al transportarla. Reducir las emisiones de dióxido de carbono y demás gases contaminantes, mejorando así la calidad del aire. La generación de energía renovable a gran escala pudiendo incluso producir más energía de la que se consume. Utilizar superficies que continuarán cumpliendo su función original mientras que generan energía. Allanar el paso a los transportes respetuosos con el medioambiente. Todo esto es lo que supondría el desarrollo e implantación de captadores solares en superficies como carreteras, aparcamientos, caminos, carriles bici, aeropuertos, vías de tren, pistas deportivas y demás superficies desaprovechadamente expuestas a la radiación solar. Teniendo en cuenta que recibimos más energía del sol de la que consumimos y que esta es renovable y limpia, parece lógico pretender captar la mayor cantidad posible. Si mejorando la eficiencia de los captadores y optimizando los procesos de fabricación llegaran a autofinanciarse en un período de tiempo razonable dentro de su vida útil, ¿podrían desarrollarse a gran escala y funcionar conjuntamente con vehículos eléctricos?

Palabras clave: Carretera, solar, energía, renovable, eficiencia.



# SUMARIO

1. Introducción	
1.1 Motivación.....	13
1.2 Objetivos.....	14
1.4 Contexto energético.....	14
2. Metodología.....	16
3. Estado del arte	
3.1 Concepto.....	17
3.2 Comparativa con paneles solares tradicionales.....	18
3.3 Casas comerciales.....	19
<i>Solar Roadways</i> .....	20
<i>SolaRoad</i> .....	31
<i>Wattway</i> .....	35
<i>Solmove</i> .....	43
3.4 Transmisión inductiva de energía.....	48
4. Proyecto de aplicación en la Ciudad Universitaria de Madrid.....	49
5. Otras líneas de investigación.....	73
6. Conclusiones.....	75
7. Índice de figuras.....	77
8. Bibliografía.....	79





## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Motivación

Continuar en la línea de la gestión eficiente de los recursos energéticos comenzada en las asignaturas optativas *Taller Experimental 2: Certificación energética de edificios* e *Intensificación en Construcción y Tecnologías Arquitectónicas*, por mi interés en lo relativo al medioambiente, la necesaria transición energética y cómo la arquitectura puede colaborar en la mejora de la situación actual.

El estudio de una tecnología que podría favorecer el cambio a un modelo completamente sostenible basado en fuentes de energía renovables y limpias, que son más respetuosas con el medioambiente, como es el caso de la energía solar. Además, incluyendo la posibilidad de mejorar el sistema de movilidad al poder llegar a funcionar conjuntamente con transportes limpios ya que cargarían sus baterías directamente con la electricidad generada de forma descentralizada, favoreciendo su implantación y desarrollo.

Como comenta José Donoso, director general de la Unión Española Fotovoltaica (UNEF) y copresidente del Consejo Global Solar (GSC)<sup>1</sup>, cada año se superan las expectativas de potencia instalada de energía fotovoltaica y según la Agencia Internacional de la Energía para el año 2050 la tecnología dominante en el mundo será la fotovoltaica.<sup>2</sup> De manera que no está en cuestión tanto si será desarrollada como cuándo, cómo y dónde va a ser desarrollada.

En el caso de España, según un estudio que la Universidad de Stanford de Estados Unidos realizó de más de cien países, se podría establecer un modelo de abastecimiento exclusivamente mediante fuentes de energía renovables (solar  $\pm 50\%$ , eólica  $\pm 35\%$  e hidroeléctrica, geotérmica o biomasa  $\pm 15\%$ ).

Afirma Jorge Morales de Labra que el sol puede ser “el petróleo de España” ya que “Andalucía en particular y España son las zonas de mayor radiación solar de la Europa continental”, así que es un lugar idóneo para colaborar en ese cambio energético necesario a nivel global. Y además de los beneficios medioambientales, desarrollar un sistema de obtención de aprovechamiento de la energía solar, supondría generar un gran número de puestos de trabajo de diversa índole y disminuir la dependencia energética de otros países (que es casi total), aumentando el PIB.

<sup>1</sup> *Global Solar Council*: Fundado en 2015 en el marco de la COP21 con la finalidad de unificar el sector solar a nivel internacional.

<sup>2</sup> Fuente: *Sostenible y renovable* en Radio 5, 24 de enero de 2016.

Todo ello debe ir de la mano de un uso sensato de la energía y una alta eficiencia para no solamente obtener más y de manera adecuada, sino también no malgastarla, siendo conscientes del constante aumento de la población unido al de la demanda energética, y ya que el bienestar no se mide en la cantidad de energía gastada sino en cómo se gasta.

El hecho de que cuanto más investiguemos, promovamos y desarrollemos tecnologías que favorezcan esa necesaria transición energética, más estaremos haciendo por mejorar la situación actual y dejarla a las generaciones futuras en condiciones apropiadas.

## 1.2 Objetivos

El estudio de las “carreteras solares”, una poco conocida tecnología prometedora al menos a priori ya que supone aprovechar los medios con los que contamos para obtener energía siendo respetuosos con el medioambiente. Qué se ha hecho hasta ahora, por qué no está teniendo más difusión y si podrá ser desarrollado en un futuro más o menos próximo.

La propuesta de un proyecto de aplicación de los captadores horizontales de energía solar con la intención de que sea finalmente llevado a cabo siendo los resultados satisfactorios y con expectativas de un mayor desarrollo e implantación a futuro.

## 1.3 Contexto energético

*Imagina que estás en una bañera con goteras y en lugar de arreglar las fugas, abres el grifo para llenar la bañera.* Con esta frase de Bertrand Piccard<sup>3</sup>, se resume la forma de proceder que se ha venido teniendo en los últimos tiempos con respecto al consumo y producción de energía.

Se prevé que en el año 2050 la población mundial rondará los 10 mil millones de personas,<sup>4</sup> doblando las necesidades energéticas actuales. A día de hoy, la gran mayoría de la energía consumida procede de la quema de combustibles fósiles. Se estima que aproximadamente el 50% de los gases de efecto invernadero son emitidos en la quema de estos para crear electricidad y sus reservas se están agotando mientras que la demanda energética sigue en aumento.

<sup>3</sup> Bertrand Piccard (Suiza, 1958) es un psiquiatra y piloto, nieto del inventor del batiscafo Auguste Piccard y director del proyecto para desarrollar un avión que funciona exclusivamente con energía solar fotovoltaica *Solar Impulse Suiza*. Es también presidente de la fundación humanitaria *Winds of Hope* y embajador de Buena Voluntad de la ONU.

<sup>4</sup> Según la Organización de las Naciones Unidas (2005).

Cuando no queden combustibles fósiles será imposible no llevar a cabo la ya necesaria transición energética. Si no se ha realizado para entonces, al menos cuanto más se haya avanzado menos camino quedará por recorrer.

Recibimos más energía del Sol de la que consumimos, por lo que parece lógico pretender captar la mayor cantidad posible. Se trata de una fuente de energía renovable y se podría captar en cualquier lugar que reciba radiación solar. Se ha desarrollado mucho en los últimos años llegando a ser competitiva con las tradicionales y su potenciación podría evitar que continúe en aumento la temperatura global.

Una cuestión a tener muy en cuenta es la relación entre productor y consumidor, que deja de ser lineal (productor-distribuidor-consumidor) para ser de autoconsumo e intercambio entre consumidores productores, con la consecuente modificación total de la regulación y el sistema eléctrico en general.

Generar electricidad a partir de la energía solar no produce ruido ni emisiones de gases contaminantes como CO<sub>2</sub>, principal causante del efecto invernadero. La inversión económica corresponde a la instalación, ya que el combustible es gratuito y dependiendo de las condiciones concretas de cada caso, los beneficios serán más o menos notables. Además, no es una tecnología muy compleja que requiera de mucha formación, por lo que cualquier instalador eléctrico realizando un pequeño curso puede entrar en este mercado. La instalación es sencilla y requiere de bajo mantenimiento, entre otros motivos por no tener partes móviles.

La energía solar recibida, aunque puede ser predecible, depende de las condiciones climatológicas, pudiendo ya llegar a ser la opción más barata. En su contra, obviamente no puede ser captada por la noche y la producción de los captadores solares, sin embargo, sí que es contaminante.

Es una tecnología flexible y modular, pudiendo ser de pequeño o gran tamaño. Para crear huertos solares, una manera muy eficiente de captar energía solar, se requiere de grandes superficies que no encontramos en los densos núcleos urbanos, mientras que es a estos a los que se distribuye la gran mayoría de la energía producida. Esto se traduce en una innecesaria pérdida de energía al ser transportada, que podría evitarse acercando la producción al punto de consumo. Hay posibilidades de conseguirlo, dado que algo que sí hay en esos densos núcleos urbanos son carreteras y demás superficies desaprovechadamente expuestas a la radiación solar que seguirían cumpliendo su función original mientras se utilizan para captar esa energía, que es renovable, con respeto al medioambiente.

## 2. METODOLOGÍA

Para llegar a conocer el sistema se parte de reunir toda la información de interés que pueda resultar útil. Además de consultar numerosos artículos periodísticos y algunos científicos, que tratan distintos aspectos de la cuestión, se localizan las casas comerciales existentes y tras contactar con ellas, se gestiona su información.

Una vez ordenada toda la información se procede al análisis, desarrollando un proyecto de aplicación en la Ciudad Universitaria de Madrid mediante la elaboración de mapas de soleamiento a partir de los cuales poder decidir qué puntos serían buenos para implantar captadores solares horizontales.

También se proponen mejoras o alternativas a las “carreteras solares”, fruto de otras líneas de investigación surgidas a lo largo del proceso que excederían los límites del presente trabajo, entorpeciendo la consecución de los objetivos de este.

Finalmente, enunciar conclusiones del proceso desarrollado, más o menos favorables respecto al tema en cuestión.

### 3. ESTADO DEL ARTE

#### 3.1 Concepto

Carecemos de amplias superficies libres disponibles en los centros de las grandes ciudades en las que poder desarrollar amplios huertos solares para facilitar un ahorro energético no gastando energía al transportarla. Sin embargo, sí existen grandes superficies destinadas al uso de carreteras, que solo son ocupadas por coches aproximadamente una décima parte del tiempo. Las expuestas a la radiación solar, pasan, por lo tanto, un noventa por ciento del tiempo inútiles, mirando al sol. Convertir esta gran cantidad de superficies en captadores solares supondría acercar la producción de energía al punto de consumo abaratando costes tanto en cableado, al ser menor la distancia a recorrer y el grosor de los mismos, como directamente de energía, al no gastarla para transportarla desde alejados puntos de producción hasta el punto de consumo (se estima esta pérdida entre un 6 - 10 %)<sup>5</sup>.

Además de aprovechar superficies para producir energía a través de fuentes limpias y renovables mientras que seguirían cumpliendo su función original (que incluso se podría ver mejorada), en consecuencia se disminuirían en gran cantidad las emisiones de CO<sub>2</sub>.

El hecho de que las carreteras de asfalto requieren de un mantenimiento por la pintura y la generación de baches, es algo que se tiene en cuenta en estos nuevos captadores, evitándose el uso de pinturas y aumentando la resistencia. En caso de que se rompa algún módulo, se prevé que pudiera ser sustituido fácil y rápidamente. Las carreteras de asfalto tienen una vida útil de unos veinte años, momento en que hay que renovarlas, frente a los 25 años de los paneles solares en cubiertas de edificios, cifra que podría llegar a igualarse con los captadores solares horizontales. Serían carreteras más duraderas con el plus de poder captar energía limpia y renovable.

Si llegara a desarrollarse a gran escala, podría también facilitar la transición a transportes respetuosos con el medioambiente funcionando conjuntamente con vehículos eléctricos mediante transmisión inductiva de energía. De esta forma las baterías de los vehículos se cargarían en movimiento, mientras se conducen, ya que no requiere de cables. Esto aumentaría el tiempo de independencia de las baterías, evitando la preocupación de encontrar una estación de carga, uno de los motivos por los que no se llegan a instaurar.

<sup>5</sup> Fuente: France Info, 2015.

Al ser una tecnología novedosa, pero para cumplir la función que han venido desarrollando otras fuentes energéticas, puede desde un principio plantearse evitando los errores cometidos hasta ahora, así como mejorando lo pertinente. Por ejemplo, el cableado iría ya incluido en el propio suelo, eliminando las torres de cableado tan peligrosas especialmente para las aves y además con un gran impacto paisajístico.

Si bien puede aplicarse en infraestructuras previamente desarrolladas, tiene especial interés que las proyectadas se construyan directamente con estas nuevas tecnologías (se estima que para 2050, se crearán 25 millones de kilómetros de vías pavimentadas en países en vías de desarrollo)<sup>6</sup>.

### 3.2 Comparación con los paneles solares en las cubiertas y fachadas de los edificios

Hasta ahora, las únicas superficies utilizadas para captar energía solar en los centros de las densas ciudades han sido las cubiertas de los edificios. Algo que no van a poder cumplir las superficies captadoras de energía en potencia, será esa inclinación (de unos 15°) para estar orientados al sur, por lo que en ese aspecto, con la misma tecnología serían aproximadamente entre un 30-50% menos eficientes.<sup>7</sup>

Sin embargo, las superficies de carreteras, aparcamientos, pistas deportivas, caminos, aeropuertos, vías de tren, carriles bici y demás superficies aptas para la captación de energía solar mientras que cumplen con su función original, son muy superiores en cantidad a las de las cubiertas de todos los edificios. Esto suponiendo que en todas las cubiertas de todos los edificios fuera factible la colocación de paneles solares, que en cualquier caso no podrían ocuparlas en su totalidad al inutilizar parte del espacio en el que se encuentran por tener esa inclinación y para la accesibilidad por mantenimiento. Además, no suponen el impacto paisajístico de los paneles solares en las cubiertas al estar en plano. De hecho, las carreteras o superficies horizontales captadoras de energía solar en general, podrían en algunos casos incluso embellecer el paisaje.

Pero el tenerlos que adaptar a poder caminar o incluso conducir sobre ellos, supone una serie de importantes cambios con la finalidad de garantizar en todo momento la seguridad del usuario. Así, la rugosidad de la superficie

<sup>6</sup> Informe del 2013 de la Agencia Internacional de Energía.

<sup>7</sup> Según el científico Jens Günster, miembro del BAM (Instituto Federal de Investigación y Ensayo de Materiales).

deberá ser la necesaria para garantizar al menos la misma adherencia que las superficies originales, incluso en condiciones de lluvia.

También, obviamente deberán tener mucha más resistencia mecánica al recibir cargas que pueden ser de gran envergadura, y a cizalladura, ya que si se va a conducir sobre ellas, también se va a frenar en ellas. Otro aspecto a tener en cuenta y paliar, es que si la superficie es de vidrio convencional podría provocar deslumbramientos, especialmente peligrosos en carretera. Y el hecho de que sobre ellas se camine o conduzca, irremediablemente les hace estar expuestas a condiciones que no se limitan a las climatológicas, las cuales ya son contempladas en las placas solares convencionales.

Es necesario que de alguna manera repelan la suciedad que se generaría con el paso continuado de los vehículos, ya que de no ser así su eficiencia podría verse muy perjudicada. En cualquier caso, serían más accesibles para limpiarlos que los de las cubiertas, evitando riesgos, y podría adaptarse el sistema utilizado para limpiar las carreteras actuales a las nuevas características.

En cuanto al precio, a día de hoy es mucho más rentable un panel solar convencional. En veinte años, de 1995 a 2015, el precio de los paneles fotovoltaicos se redujo al diez por ciento del inicial,<sup>8</sup> esto podría ocurrir de igual manera con los captadores horizontales, por lo que aún es pronto para hacer comparaciones exhaustivas. Al poderse desarrollar a gran escala, la planificación se facilita ya que no hay que estar desarrollando proyectos individualizados para cada vivienda y el proceso de montaje puede llegar a ser más barato.

### 3.3 Casas comerciales

Son cuatro las principales patentes que están desarrollándose actualmente: *Solar Roadways* (Estados Unidos), *SolaRoad* (Holanda), *Wattway* (Francia) y *Solmove* (Alemania). Aunque la intención y finalidad de sus sistemas es la misma, son diferentes en algunos puntos. Unas tienen una trayectoria más amplia, más construido y/ o mejores resultados que otras. Sin embargo, en cualquiera de los casos se sigue tratando de una tecnología muy novedosa, por lo que es difícil cuantificar ganancias energéticas, vida útil, tiempo de autofinanciación, etcétera. Más aún por el hecho de que se sigue mejorando y progresando, por lo que los datos que se hayan podido tomar hasta el momento, estando en funcionamiento y expuestas en distintas condiciones climatológicas y épocas del año, serán probablemente con tecnologías que ya hayan sido mejoradas.

<sup>8</sup> Fuente: Wattway, 2016.

## Solar Roadways

**Equipo**        *Solar Roadways* (en adelante, SR), fue fundado en 2006 por Scott y Julie Brusaw, con sede en Idaho, Estados Unidos. El equipo está formado por Scott, con un máster en ingeniería eléctrica; Julie, con un máster en psicología de asesoramiento, y la directora de ciencia, Alyssa Delbridge, con un máster en ciencias ambientales.

**Idea**        Todo comenzó después de que el matrimonio Brusaw viera el documental “Una verdad incómoda” (*An inconvenient truth*) acerca de la campaña de concienciación sobre el calentamiento global desarrollada por el exvicepresidente de Estados Unidos, Al Gore. Fue entonces cuando se sintieron especialmente preocupados por el medioambiente y Julie se preguntó si no podrían hacerse caminos de paneles solares. Scott en un principio lo descartó porque se romperían, pero volvió a plantearse e hicieron “lluvia de ideas”.

Tras anotar todas sus ocurrencias, se las presentaron a su vecina y amiga Pamela Bird, cuya compañía había asesorado a inventores durante muchos años. Tras recibir el visto bueno, comenzaron el proceso para obtener la patente.

A esto se sumaron una serie de situaciones que les sirvieron para impulsar su idea. Primeramente, el hecho de que el equipo de grabación del documental YERT<sup>9</sup> viajó por cincuenta estados en busca de nuevas ideas para frenar el calentamiento global y se incluyó la idea de SR, haciendo un vídeo sobre ello llamado “El prototipo” en junio de 2010.

Les invitaron para hablar en Booz Allen, una empresa de gestión y consultoría estadounidense, cerca de Washington DC y aprovecharon para comentar su idea a congresistas y senadores. Uno de ellos, Mike Capro, de Idaho, les apoyó e hizo un vídeo hablando de su producto.

También se hicieron más conocidos al ser nombrados finalistas en los premios ACE<sup>10</sup> EE Times en la categoría de “mejor activador de ingeniería verde” en 2009 y de “energía renovable más prometedora” en 2010.

**Sistema**        Se trata de un sistema modular de paneles solares sobre los que se puede caminar y conducir. Están hechos de vidrio templado<sup>11</sup> para aguantar hasta semi camiones y que garantiza una tracción como la del asfalto.

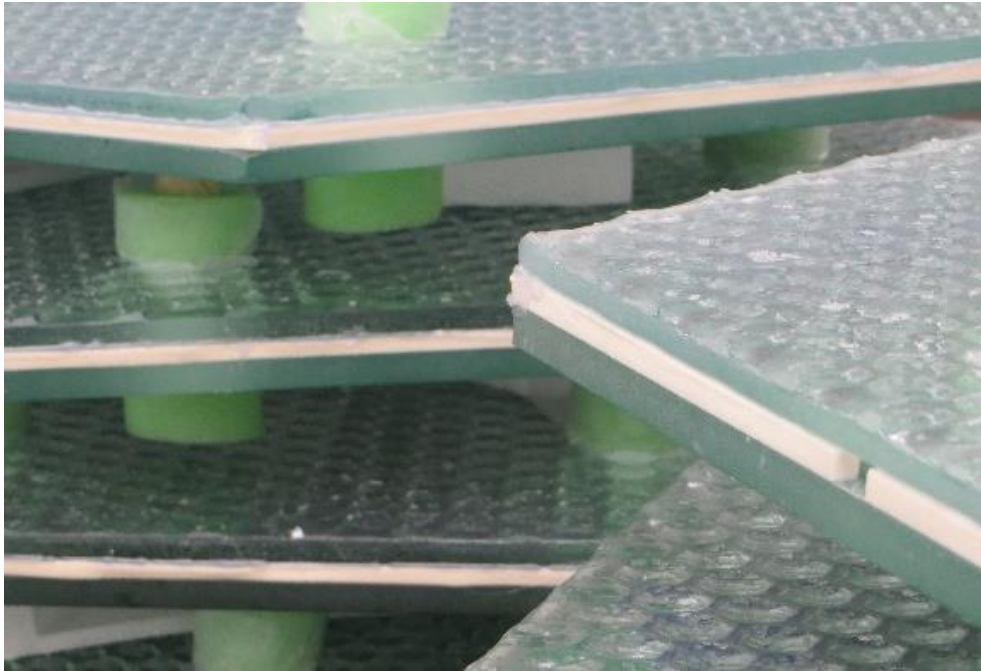
<sup>9</sup> “Tu viaje en carreteras medioambientales” (*Your Environmental Road Trip*).

<sup>10</sup> Creatividad Anual en Electrónica (*Annual Creativity in Electronics*).

<sup>11</sup> Que se ha procesado para aumentar su resistencia.



Cuentan con luces led<sup>12</sup> para señalización sin necesidad de pintura (no sería adecuada para el vidrio de todas formas), ni por tanto de gastar en el mantenimiento de la misma (se gastan unos 2 billones de dólares anualmente). Se comunican entre ellos, con una estación de control central y con vehículos gracias a los microprocesadores que contienen. Los componentes eléctricos (las células solares, los elementos de calefacción y los leds), se colocan en una placa entre dos piezas de vidrio unidas herméticamente para protegerlos (figura III-1).



III-1

Paneles de vidrio sellados herméticamente. *Solar Roadways®*

Al estar en fase de desarrollo, las pruebas se hacen en zonas que no suponen un peligro, como aparcamientos. En un principio se podría utilizar mientras se conduce. Pretenden modernizar las infraestructuras produciendo energía renovable y limpia.

Han completado dos contratos con el Departamento de Transporte de Estados Unidos (USDOT), y fueron premiados con un tercero para noviembre de 2015.

El primero fue en agosto de 2009, un contrato SBIR<sup>13</sup> de 100.000 \$, con el que hicieron el SR<sub>i</sub> y desarrollaron un prototipo de módulos cuadrados de 3,6 x 3,6 metros de células led.

SR<sub>i</sub>

<sup>12</sup> Diodo emisor de luz (*light-emitting diode*).

<sup>13</sup> SBIR (*Small Business Innovative Research*): Programa estadounidense para apoyar a pequeñas empresas con ideas innovadoras.

Cada célula contiene tres blancos y tres amarillos para simular la señalización de las carreteras. Era necesario un programa de software para configurar el encendido y apagado de los led y las bombas de aguas pluviales.

Las aguas pluviales arrastran toda la suciedad de las calles contaminando los arroyos, lagos, ríos y océanos. Por ello proponen recoger y filtrar el agua de lluvia antes de que alcance cursos de agua, disponiendo sistemas de retención de aguas en los laterales de las carreteras que después sería bombeada hacia una instalación de tratamiento de agua. Según la NRDC<sup>14</sup>: “La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), considera que la contaminación desde todas las fuentes difusas, incluida la contaminación de las aguas pluviales urbanas, es la fuente más importante de contaminación en las aguas de la nación”. También se evitan inundaciones repentinas y el *aquaplaning*, aunque los módulos están sellados herméticamente y soportarían la inmersión. No les daña ni el viento ni el granizo y son además más estables frente a tornados y huracanes que los paneles en cubiertas.

Se trataba de demostrar la viabilidad de creación de un prototipo que genera su propia energía (por el sol o por la masa del vehículo en movimiento), y la transfiere donde más se necesite o se almacena. Estaría hecho con materiales reciclados y sería modular para facilitar la sustitución en caso de avería, facilitando el mantenimiento y aumentando la seguridad al eliminar la posibilidad de generación de baches.

A diferencia del plástico, el vidrio por sus propiedades no se oscurece con el tiempo. Se propone utilizar vidrio flotado por su bajo coste y buena disponibilidad en el mercado. El vidrio verdoso, de sosa y cal, es el más común y ese tono se debe al contenido de hierro, que afecta negativamente a su capacidad de pasar la luz (transmitancia), así que se busca un vidrio con bajo contenido de hierro.

SR<sub>2</sub> Al completar esta fase, se solicitó una segunda fase que tardó en llegar sin tener ingresos nuevos. Supieron de un concurso de Ecoimaginación de GE<sup>15</sup>, cuyo premio eran 10.000 \$, que finalmente ganaron y fueron a recibirlo a Nueva York, expandiendo más aún su idea.

<sup>14</sup> El Consejo de Defensa de Recursos Naturales (*Natural Resources Defense Council*) es un grupo de defensa medioambiental sin ánimo de lucro con sede en Nueva York.

<sup>15</sup> La Compañía Eléctrica General (*General Electric Company*) es una corporación multinacional de infraestructura, servicios financieros y medios de comunicación de origen estadounidense.

Con la financiación del segundo contrato en julio de 2011, de 750.000 \$, desarrollaron los módulos SR2, ya hexagonales, e hicieron una instalación de prueba, un estacionamiento, con 108 paneles (figura III-2). Hexágonos que se adaptaban mejor que los cuadrados SR1 a las curvas, de unos 40 cm<sup>2</sup> y 50 kg, pudiendo ser transportados por un individuo.



III-2

#### Estacionamiento SR2. Solar Roadways®

La finalidad era nuevamente demostrar que se generaba energía, ser modular facilitando el mantenimiento, calentar la superficie y manejar las escorrentías de aguas pluviales, el uso de materiales reciclados (el 10% del agregado utilizado como base era vidrio reciclado), la resistencia a grandes cargas, que garantiza al menos la misma seguridad que los pavimentos convencionales mediante pruebas de tracción y puede llegar a autofinanciarse tanto por la producción de energía como por la recogida de aguas o publicidad en las luces led. Se comprobó que podría detenerse un vehículo a 130 km/h en una superficie mojada en la distancia requerida.

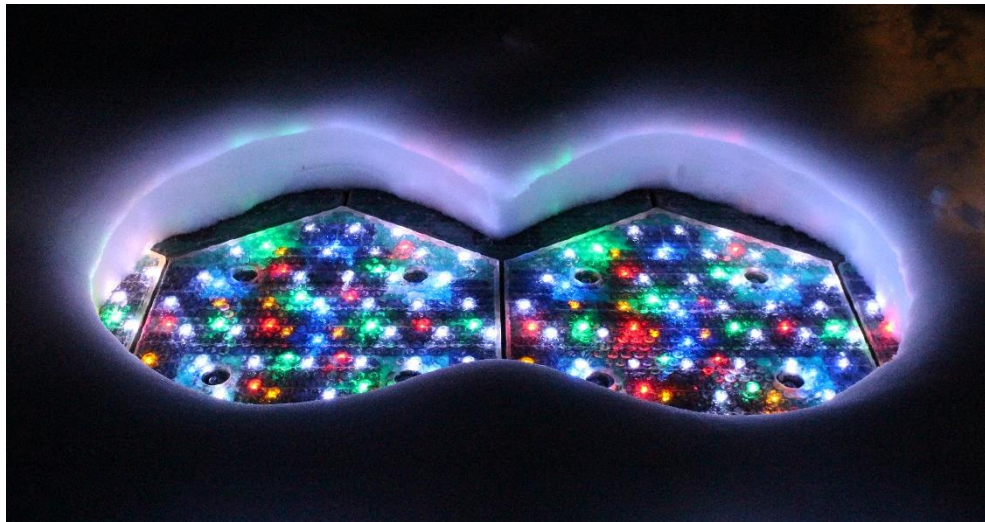
Era complicado encontrar un fabricante de vidrio ya que era poca cantidad y muy específico, mientras que el presupuesto era bajo. Pero Tim Casey Jockimo produjo el vidrio para el prototipo y más tarde se le encargó también el de los 108 SR2S. Este vidrio templado soportaba 113 toneladas, mientras que el límite legal de peso para camiones es de unas 36 toneladas. El vidrio tiene una dureza de 5,5 - 6 de la escala de Mohs (1-10).

Había 128 leds que se controlaban por un microprocesador desde un ordenador, e incluían los colores rojo, verde, azul, blanco y amarillo, pudiendo variar su intensidad. En cuanto al uso de la energía, se introducía en el centro de

carga de la tienda y si no utilizaba algo, se pasaba a la red local. La revista de divulgación científica *Popular Science* en 2014 eligió a SR como una de las más importantes innovaciones del año.

Para que el cableado no tenga que ir por la superficie, se dispone un corredor diseñado para que quepa un hombre adulto. Ahí los cables están resguardados de los peligros ambientales, como tormentas, pero sin estar enterrados (dificultando el mantenimiento y siendo peligroso al tener que cavar sin saber con exactitud dónde están, pudiendo dar con conductos de gas por ejemplo).

Al integrarse un componente de calefacción, mantienen las carreteras libres de nieve y hielo (figura III-3), necesario para garantizar que sean seguras. Esto es de gran importancia en Estados Unidos, donde el 70 % de la población vive en regiones nevadas y se gastan unos 2,3 billones de dólares al año para controlar la nieve y el hielo, además de para reparar daños causados por estos.



III-3

SR libre de nieve. *Solar Roadways®*

Las células solares transmiten la energía a la red, no directamente a los leds, son sistemas independientes. Los leds trabajan por la noche, cuando los captadores no generan potencia. Producen energía de corriente continua, por lo que se pierde parte al tener que convertirla a alterna a pesar de que la mayoría de los electrodomésticos y demás dispositivos funcionan también con continua, pero tienen un convertidor en la toma de corriente. Si la energía solar se impusiese frente a las demás, sería lógico unificar todo a corriente continua, eliminando la necesidad de convertidores y de perder energía. Esta se puede almacenar y en caso de necesitar para los leds más de la captada, por ejemplo para calefacción por la noche, pueden tomar energía de la red.

También garantiza la descentralización de la producción de energía. Esto supone no perder energía al transportarla y asegura que si hay una avería no quedarían todos los usuarios sin suministro.

Y habría un monitoreo ante posible actividad animal, ya que por la mayor temperatura, se teme que la vida silvestre quiera descansar en el camino de SR. Actualmente no ha habido actividad animal registrada, pero en cualquier caso se garantiza seguridad para los animales (se estima que cada año 200 personas mueren en accidentes de tráfico relacionados con animales, por colisión o por intentar esquivarlos).

De esta segunda fase se registró que cada hexágono produce 26.195,5 Wh por año, esto es 65,5 kWh/m<sup>2</sup> por año. Pueden transferir la corriente tanto en serie como en paralelo, pudiéndose conectar a cualquier dispositivo de almacenamiento. La generación de energía, el alquiler del corredor para cableado a las compañías eléctricas, la posible publicidad en aparcamientos y la recogida y filtrado de aguas pluviales, podrían desembocar en la autofinanciación del proyecto.

Cuando estaba finalizando esta segunda fase, comenzaron su campaña en Indiegogo<sup>16</sup>, buscando financiación para seguir desarrollando SR con una meta de un millón de dólares. Fueron más conocidos también por las redes sociales y gracias al vídeo creado por un voluntario *Freaking Solar Roadways*, que se hizo viral. Además recibieron ayuda de personas influyentes. Rompieron el récord al tener más de 50.000 donantes de 165 países diferentes, ascendiendo a los 2.270.000 \$. Culminó con la invitación a la Casa Blanca en la primera feria anual del fabricante. Con esos fondos compraron un edificio para oficinas y fabricación, equipos, materiales y contrataron empleados para seguir avanzando. Al haber sido una campaña exitosa, Indiegogo les invitó a abrir otra en InDemand, que no tiene fecha de finalización y pueden seguir obteniendo financiación indefinidamente.

Campaña

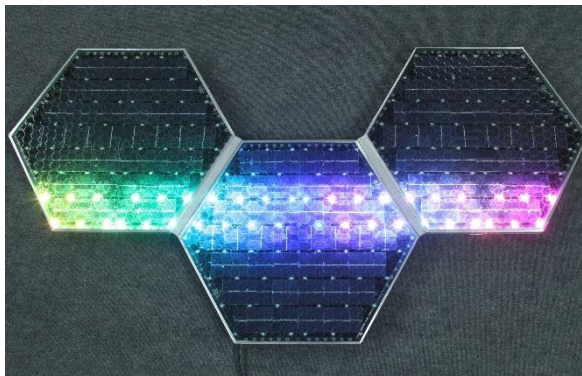
Como ese segundo contrato fue un éxito, pudieron seguir progresando con un tercero en noviembre de 2015, el contrato IIB, de dos años y otros 750.000\$. Así se creó SR3, para lo que se reutilizó casi en su totalidad la instalación anterior de SR2 (excepto uno de los módulos, que fue convertido en una mesa de café).

SR3

<sup>16</sup> Plataforma de lanzamiento para ideas empresariales con la finalidad de recaudar dinero para su financiación y clientes.



Los principales progresos son la eliminación de los agujeros de montaje aumentando la superficie de captación, y la mejora de los leds, que son RGB<sup>17</sup> pudiendo crear 16 millones de colores diferentes (figura III-4). Sus intensidades son esta vez controladas automáticamente por el microprocesador, el cual las ajusta según las condiciones de luz ambiente por los datos que recibe de un sensor.



III-4

Paneles SR<sub>3</sub> con leds RGB. *Solar Roadways*®

Para la iluminación de una carretera de dos carriles, simplemente sería necesaria una línea a cada lado de la carretera y otra central, dejando sin iluminarse la mayoría de los módulos (menos del 2% se iluminaría), por lo que el gasto energético sería muy escaso y se elimina el uso de pinturas.

Este microprocesador también controla los elementos de calentamiento. Se fija una temperatura y cuando un sensor informa de temperaturas inferiores, se activa la calefacción del cuadrante (de los cuatro de cada hexágono) del que se ha recibido esa información. Además, en cuanto a captación de energía, los SR<sub>2</sub> eran de 36W y los SR<sub>3</sub> son de 48W.

También como parte de este tercer contrato, enviaron a principios de 2017 cinco de sus módulos a un laboratorio de ingeniería civil para que probaran su resistencia a cizalladura simulando el frenado de vehículos pesados y enviarán otros para probar su resistencia a congelación-descongelación, haciendo además un supuesto de desgaste equivalente a 15 años de uso por camiones en 3 meses (es necesario seguir haciendo pruebas antes de pasar a la fabricación en serie).

<sup>17</sup> Rojo, verde y azul (*red, green, blue*): Modelo por el que es posible representar colores mediante la mezcla por adición de los tres colores de luz primarios.

Desarrollaron, en distintas latitudes, sitios de prueba para cuantificar las ganancias energéticas de un captador solar en horizontal (como los que se distribuirían en las carreteras), frente a los inclinados paneles solares convencionales de las centrales o cubiertas. Los resultados obtenidos muestran que en días nublados los paneles horizontales son más eficientes, pudiendo deberse esto a que los fotones se dispersan y les es más sencillo llegar a una superficie horizontal que a una inclinada. (En los días de nieve no hay ganancias al taparse la superficie captadora, sí las habría en el caso de SR, ya que la derrite).

Entre las posibles aplicaciones destacan:

Aplicaciones

- Autopistas, caminos y carreteras residenciales, que posibilitan la creación de redes de dimensiones considerables.
- Aeropuertos y helipuertos, siempre expuestos al sol al tener que estar despejados sus alrededores, la energía obtenida se podría utilizar para los aviones o los edificios en caso de estar en una azotea, se podría mejorar la señalización para los pilotos y evitar cancelaciones de vuelos o retrasos, al derretir la nieve. Algunos pilotos han expuesto que sería beneficioso al poderse ver mejor desde el cielo y poder aterrizar sin problemas incluso si se perdiera la conexión con la torre de control.
- Pasos de peatones, donde se evitarían caídas por la nieve y accidentes al mejorar la señalización con los leds y poder ser programados para avisar de la presencia de peatones (el 20% de los accidentes de peatones continúan ocurriendo en los cruces y el 70% por condiciones de poca visibilidad)<sup>18</sup>.
- Aparcamientos, patios, pistas deportivas o bordes de piscinas, en los que encaja perfectamente por su superficie antideslizante. Estadios deportivos, en que los leds podrían reproducir los colores o mensajes de los equipos mientras generan energía.
- Pueden convertirse en sistemas de alerta al avisar de peligros inminentes, como un desprendimiento o el paso de un vehículo de emergencias, y mejoran la señalización en condiciones de baja visibilidad como por ejemplo por lluvia, niebla o tormenta. En caso de accidente pueden reprogramarse para señalar un desvío. También hacen posible variar los estacionamientos según las necesidades, pudiendo dividirse en plazas más amplias si no hay mucha afluencia, escribir los nombres de determinados invitados, así como garantizar plazas para discapacitados.

<sup>18</sup> Fuente: NHTSA (*National Highway Traffic Safety Administration*) Administración Nacional de Seguridad del Tráfico en las Carreteras, 2016.

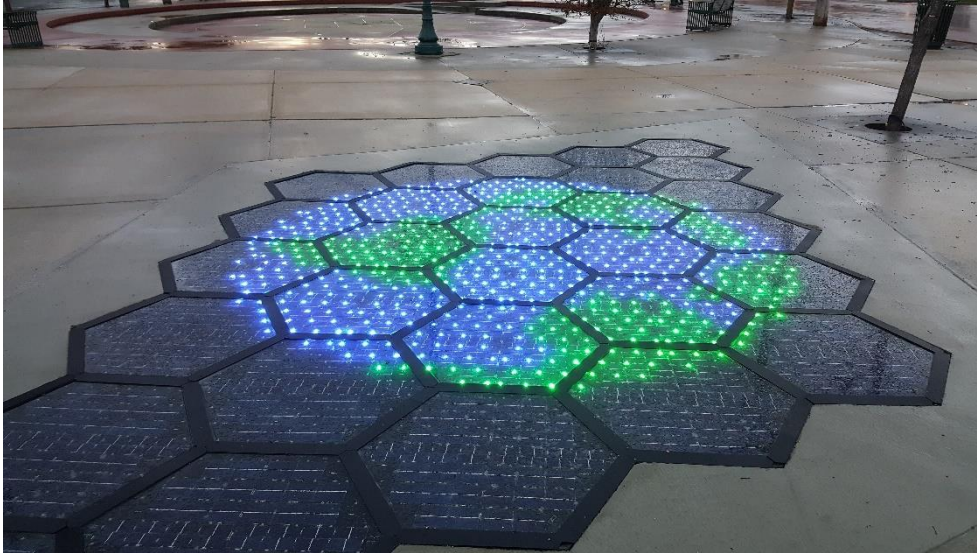
- Los dueños de negocios pueden publicitarse programando su logotipo, sin embargo, no se pueden reproducir imágenes con gran calidad porque si no los leds taparían las células solares. Además, disminuyen la contaminación lumínica al encontrarse en el suelo y permitir poder prescindir de otros medios de iluminación en algunos tramos, llegando a limitarse a iluminar unos metros alrededor de los vehículos en momentos de casi nula circulación con el fin de no malgastar energía.
- En los parques infantiles, los profesores pueden crear sus propios juegos, pueden tener distintas canchas deportivas (pasar de baloncesto a fútbol, por ejemplo), y mejorar la educación y conocimiento de fuentes de energía limpia y renovable haciendo que las nuevas generaciones se familiaricen con ellas.
- En el caso de los carriles bici, además de las líneas de señalización, podrían iluminarse cuando sobre ellos pasase una bici, haciéndola visible a los demás vehículos mejorando la seguridad por la noche especialmente.

En uno de sus blogs, comentan cómo David Letterman se frustró al darse cuenta de que su coche eléctrico era también nocivo para el medioambiente ya que seguía consumiendo combustibles fósiles en la generación de la electricidad que necesita para cargarse. Scott y Julie defienden que ese es uno de los problemas que SR solucionaría. De hecho hacen una estimación de los efectos que tendría cubrir todas las carreteras, aparcamientos, y demás superficies aptas en Estados Unidos con SR: Se podría producir tres veces la electricidad que se consume y eliminar la mitad de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Si además todos los coches fueran eléctricos, se eliminaría otro 25%, así que es muy importante la transición a transportes limpios, y SR ayudaría al evitar la tensión generada por tener que buscar lugares donde poder cargarse, ya que esto podría realizarse mientras conducen. De hecho, según un consorcio de Utah que estudia la carga de vehículos por energía inductiva, si solo las carreteras interestatales (representan un 2%) ofrecieran ese servicio, se supliría el 98% de las necesidades de carga de los vehículos. Por tanto, las carreteras solares junto con los vehículos eléctricos que se cargan mientras conducen, son una posibilidad.



Cuentan con dos proyectos piloto, el primero de ellos (figuras III-5 y III-6) de 2016 en la plaza Jeff Jones de Sandpoint, Idaho, cerca de su sede, por lo que pueden monitorizarlo y tomar datos con más facilidad. Se trata de 6 paneles SR3.1, esto es, 14 m<sup>2</sup> de *Solar Roadways* sobre los que se puede caminar y montar en bici. Se plantea que sea interactivo en un futuro y los ciudadanos puedan modificar las luces led.



III-5

Primera instalación pública de SR celebrando el Día de La Tierra. *Solar Roadways*®

Puede verse a tiempo real en [www.cityofsandpoint.com/visiting-sandpoint/solar-roadways#ad-image-4](http://www.cityofsandpoint.com/visiting-sandpoint/solar-roadways#ad-image-4) (junio de 2017). Alimenta el centro de carga del que toman la energía las luces del baño y de la plaza, una fuente de agua y el quiosco (es demasiado pequeña como para dotar de toda la energía que necesita a la plaza). El segundo, para el MoDOT (Departamento de Transporte de Missouri) en una acera de la famosa Ruta 66 de Conway, Missouri.



III-6

Primera instalación pública de SR. *Solar Roadways*®

Ofrecen varias alternativas para contactar con ellos: como donante, cliente, medio de comunicación, distribuidor, interno, empleado o estudiante.

Si no pudiesen mantenerse limpios, se calculó que las pérdidas de eficiencia rondarían el 9% por lo que tampoco serían muy grandes, y de todas formas, son más sencillas de limpiar que las de las cubiertas. Si bien en hormigón es difícil eliminar las marcas de neumáticos, en el vidrio no se adhiere y si se manchan, la mayoría se limpiaría al llover. Si no la última opción es utilizar vehículos de limpieza con grandes cepillos giratorios.

SR es, en resumen, desarrollar el primer sistema de carreteras con retorno de la Inversión (ROI)<sup>19</sup>, cuando se estima que el 65% de las carreteras principales de Estados Unidos están en menos que buenas condiciones. Se han diseñado para que duren al menos 20 años, siendo las células solares el factor limitante, que pueden trabajar hasta 30 años pero no en óptimas condiciones. En cualquier caso, para el equipo de Solar Roadways, “la verdadera pregunta no debería ser cuál es el coste sino cuál será el coste si no se desarrollan las carreteras solares”.

<sup>19</sup> ROI (*Return on investment*) Retorno de la inversión (%) = (beneficios – costes)/costes.

## SolaRoad

Ya en Europa, los holandeses de *SolaRoad* se plantearon si no estaría bien que las carreteras generasen energía renovable a partir de la luz del sol. Hay unos cuatrocientos cincuenta kilómetros cuadrados de carreteras que podrían generar electricidad y esta ser utilizada para sistemas de tráfico, alumbrado público, viviendas o carga de coches eléctricos, entre otros.

Una de las claves de su éxito es el equipo que forma la empresa: TNO innovation for life investiga, Ooms Civiel como constructor de carreteras e IM-tech con su integración eléctrica. Cada uno aporta sus conocimientos y contactos, y trabajando conjuntamente hacen posible el correcto desarrollo de *SolaRoad*. Han recibido mucho apoyo económico (un millón y medio de euros) por parte del gobierno, el mayor cedido hasta ahora de lejos, lo cual demuestra la confianza e interés que hay en el proyecto.

Equipo

Desarrollaron un primer prototipo en 2010, tras numerosos estudios y siendo sometido a pruebas de laboratorio. Fue en 2011 cuando decidieron definitivamente apostar por el proyecto. Y años después, el doce de noviembre de 2014, fueron los pioneros al construir un transitado carril bici de 70 metros de largo por 3,5 metros de ancho en Krommenie (figura III-7), convirtiéndose en un “laboratorio de pruebas”. Tuvo gran difusión, supuso un billón de vistas en prensa.

Carril bici solar



III-7

Carril bici en Krommenie, Holanda. *SolaRoad Netherlands*



Fue inaugurado por el ministro Kamp de Asuntos Económicos y la diputada Elisabeth Post y se utilizará para probar la eficiencia del sistema, aspectos a mejorar especialmente respecto al vidrio y a las células solares, e incorporar posibles nuevos avances en el campo de la energía solar.

**Sistema** Consiste en losas prefabricadas de hormigón de 2,5x3,5 metros con células fotovoltaicas a las que debe llegar la luz pero estar protegidas al mismo tiempo (figuras III-8 y III-9). Esta la principal dificultad técnica a la que se enfrentan.



III-8

*Construcción de SolaRoad. SolaRoad Netherlands*

Desarrollan una cubierta de vidrio temperado de aproximadamente un centímetro de espesor, distando mucho de las carreteras tradicionales, que debe ser traslúcida para dejar pasar la luz a las células solares y suficientemente resistente como para poder conducir sobre ellas.



III-9

*Construcción de SolaRoad. SolaRoad Netherlands*

Las ganancias esperadas eran de 50-70 kWh/m<sup>2</sup> por año, siendo el resultado ligeramente superior. El día 1 de junio, se generaron 4.700 kWh, lo que equivale a la electricidad consumida por una casa individual durante año y medio o por una moto eléctrica pequeña para dar cuatro veces la vuelta al mundo. Anualmente, sería el consumo de dos viviendas.

En 2016, se incrementó en veinte metros el carril bici de Krommenie, con una tecnología mejorada que generará nuevos resultados, como parte de un proyecto piloto de tres años. Pretenden optimizar las ganancias, así como el parecido a las carreteras convencionales en cuanto a que cumplan su función original. Siguen desarrollando el producto y buscando nuevos usos para una pronta comercialización.



*SolaRoad. SolaRoad Netherlands*

III-10

Han desarrollado el *SolaRoad kit* (figura III-11), un paso muy importante al poder ser adquirido por particulares para proyectos a pequeña escala, personas que quieran contribuir a reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y en general favorecer un futuro más sostenible, tanto holandeses como de otros países. Constan de cuatro elementos de hormigón de unos 10 m<sup>2</sup> de *SolaRoad*.

*SolaRoad kit*

La energía captada por la proyectada en Groningen, se utilizará para alimentar un punto de carga de bicicletas eléctricas, móviles y tabletas. Pero tiene muchas otras aplicaciones como por ejemplo zonas wifi o iluminar escaparates. Está pensada para implantarse en patios, carreteras de acceso, plazas, parques, estaciones de carga de bicicletas o móviles; con una capa traslúcida de vidrio endurecido para poder andar, montar en bici o conducir sobre ellos.



Bajo este vidrio se distribuyen las células solares captadoras de energía a las que pasa la luz del sol. Puede conectarse a la red eléctrica AC<sup>20</sup> o DC<sup>21</sup> o puede ser almacenada. Genera 3.500 kW/h por año, consumo medio de una casa al año.

III-11



SolaRoad Kit. SolaRoad Netherlands

En 2016 ganaron el premio Vivaio “Spiga di grano”: Milano premia l’Europa (l’iniziativa più visionaria del resto d’Europa), por su carril bici solar, recogiendo el premio Sten de Wit. En marzo de 2016 firmaron una declaración de intenciones para mejorar la infraestructura de transporte mediante la captación de energía solar, la Dirección General de Carreteras de California, Caltrans y la provincia de Holanda del Norte. Propusieron Lebec, en Kern Country, como localización en la que comenzar a implantarlo.

En octubre de 2016 la BBC Horizons emitió un vídeo sobre SolaRoad y también apareció como una de las siete razones por las que vivir en Holanda en un vídeo con millones de visitas del publicista David Wolfe.

Defienden que SolaRoad es “la carretera del futuro y la carretera hacia el futuro”.

<sup>20</sup> AC (Alternating Current): corriente alterna, cuando el flujo eléctrico se da en dos sentidos. La utilizada en la mayoría de las redes eléctricas actuales.

<sup>21</sup> DC (Direct Current): corriente continua, cuando el flujo de corriente eléctrica se da en un solo sentido. Típica en pilas, baterías y dinamos.

## Wattway

La compañía francesa *Colas*, líder mundial en creación de infraestructuras de transporte, junto con el INES (Instituto Nacional de Energía Solar Francés), desarrollaron una superficie fotovoltaica aplicable a carreteras llamada *Wattway*. Francia cuenta con 11.000 km de autopistas y 28.000 km de carreteras regionales,<sup>22</sup> por lo que su potencial como receptor de esta tecnología es considerable.

*Colas*, filial del Grupo Bouygues, fue fundada en 1929 y se expandió por más de 50 países en cinco continentes, contando con 57.000 empleados (trabaja fuera de Francia el 40% de ellos), que realizan unos 80.000 proyectos al año. En 2015 la compañía obtuvo un beneficio neto de 234 millones de euros. Las carreteras representan el 80% de la actividad de la empresa: la construcción y mantenimiento de carreteras, autopistas, puertos, plataformas industriales, carriles bici, entre otros, además de edificación e ingeniería civil en algunos países y actividades relacionadas con la producción y reciclaje de materiales de construcción.

Equipo

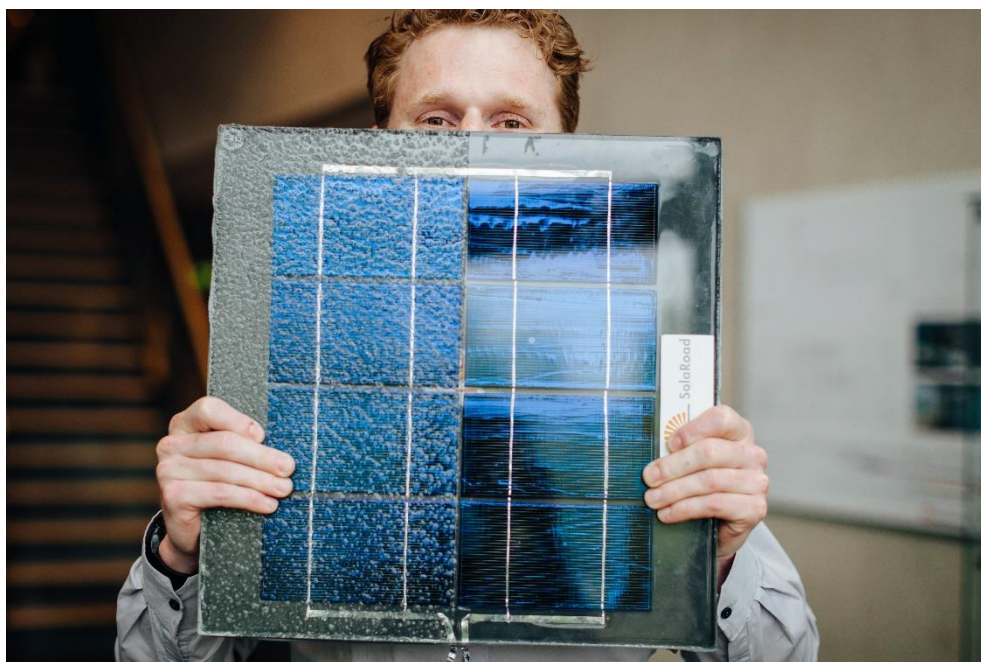
Las investigaciones en *Colas* se centran en el desarrollo de las vías en términos de seguridad, ruido y comodidad, la gestión de la movilidad, desarrollar productos que aseguren la durabilidad de las carreteras disminuyendo la necesidad de mantenimiento, y la protección medioambiental ahorrando recursos reciclando y produciendo energía eléctrica limpia y renovable gracias a *Wattway*.

El proceso de desarrollo de lo que acabaría siendo *Wattway* comenzó en 2005 cuando el por entonces director del Centro de Expertos en el campus de Ciencia y Técnicas de *Colas*, Jean-Luc Gautier, llegó a una conclusión: “Las carreteras pasan el 90% de su tiempo simplemente mirando al cielo. Cuando el sol brilla, están por supuesto expuestas a sus rayos. Es una superficie ideal para aplicaciones energéticas”. Compró células solares y las utilizó para construir un prototipo de cuarenta centímetros que resultó ser capaz de abastecer a cientos de leds, concluyendo que podían llegar a tener una ganancia energética considerable aun estando aplicados sobre superficies horizontales.

<sup>22</sup> Fuente: La Tribune, 13 de octubre de 2015.

El director técnico de investigación y desarrollo de Colas, Philippe Raffin, expone que hay muchas cubiertas disponibles para la colocación de captadores solares pero cada propietario debe estar de acuerdo y forman una red fragmentada, mientras que “los caminos, por el contrario, representan cientos de miles de kilómetros en plano y sin obstáculos”.

El siguiente paso sería solucionar los principales inconvenientes que alejaban al prototipo de poder actuar como carretera. Asegurar su resistencia no solo ante condiciones climatológicas extremas, sino sobre todo resistencia mecánica para que incluso camiones pudiesen conducir sobre él sin romperlo. También que cualquier vehículo pudiese circular en condiciones de seguridad sobre una superficie tan lisa como es el vidrio. Es entonces cuando se recibe ayuda del INES, una organización pública de investigación cerca de los Alpes franceses en la que 250 investigadores de la CEA (Comisión de Energía Atómica y energías alternativas), el CNRS (Centro Nacional para la Investigación Científica), el CSTB (Centro Científico y Técnico de la Edificación) y la Universidad de Saboya cooperan.



III-12

Prototipo de laboratorio de *Wattway*. © COLAS

Franck Barruel, el director del Instituto Nacional de Energía Solar francés en el 2011 en un principio reaccionó con escepticismo: “¿Camiones conduciendo sobre células solares? ¡Es como pedir a una galleta que aguante bajo una carga de diez toneladas!” Tras reflexionarlo un par de días, pensó que podía tener posibilidades y su equipo podía desarrollarlo.



Comenzaron a realizar pruebas y crearon la “Martyr Road”, hecha a base del material que produce la empresa de Colas llamada *Smac*, especializada en impermeabilización y revestimientos (finos y flexibles paneles de silicio diseñados para soluciones en cubiertas). Si bien al comenzar incluso veían difícil poder caminar sobre ellos, rápidamente llegaron a soportar vehículos pesados. Actualmente soporta 13 toneladas por eje (figura III-13), mientras que una célula fotovoltaica convencional puede romperse presionándola con los dedos.



III-13

Carretera solar *Wattway*. © COLAS – Joachim Bertrand

Pero con la caída del mercado fotovoltaico, apenas sí había proveedores por lo que en 2013 comenzaron de cero con silicio policristalino, usando desde ese momento células fotovoltaicas fabricadas en Francia. Tras dos años más de duro trabajo, en 2015 alcanzaron lo que dieron en llamar *Wattway*. En octubre mostraron su innovación en una rueda de prensa y en diciembre de ese mismo año, tras presentarse a la Conferencia Global del Clima en París de la COP 21<sup>23</sup>, ganó un Premio como Solución Climática. En una escala TRL<sup>24</sup>, *Wattway* se encuentra en el séptimo nivel (“prueba de un prototipo del sistema en un entorno operativo”) de un total de nueve.

Comenzaron a implantarlo en junio de 2016 a modo de proyectos piloto en Francia y fuera de ella para evaluar su potencial mediante equipos de monitorización y sus posibles aplicaciones en variedad de condiciones tanto climáticas como de tráfico (alumbrado público, energía para lugares de poca densidad demográfica donde se encarece la conexión a la red o carga de vehículos eléctricos, entre otras).

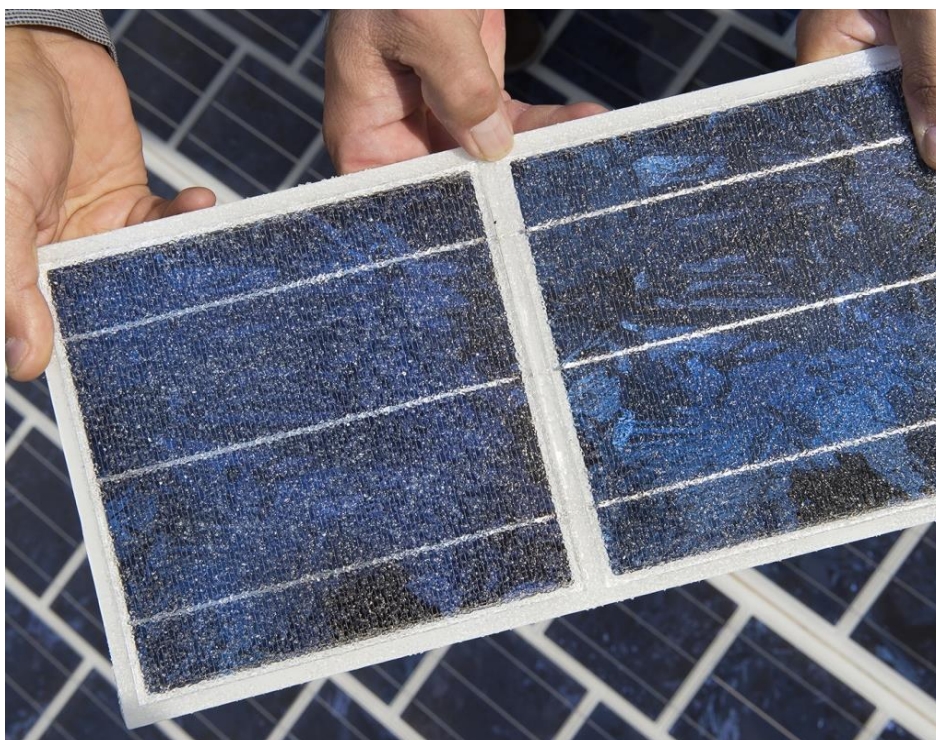
<sup>23</sup> Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en 2015.

<sup>24</sup> TRL scale (Technology Readiness Level): escala que evalúa el nivel de preparación tecnológica.

Se estima que para abastecer a una vivienda individual francesa (sin tener en cuenta gastos de calefacción), con veinte metros cuadrados de *Wattway*, esto es cuatro metros lineales de carretera, sería suficiente.<sup>25</sup> También puede ayudar a cumplir la nueva ley francesa RT2020<sup>26</sup>, de aplicación a edificios de nueva planta, equipando las áreas exteriores de estos. En el caso de alumbrado público, mil metros lineales suplirían una ciudad de cinco mil habitantes,<sup>27</sup> pudiendo además eliminar el hielo superficial en épocas de bajas temperaturas. En una estación de carga de vehículos eléctricos, cien metros cuadrados de paneles *Wattway* dotarían de energía suficiente para conducir cien mil kilómetros al año,<sup>28</sup> y podría llegar a cargar vehículos eléctricos en movimiento.

El director general de Colas, Hervé Le Bouc, afirmó que “cubrir una cuarta parte de las carreteras con *Wattway* garantizaría la independencia energética de Francia”. Tiene un rendimiento del 15%, no distando mucho de los captadores fotovoltaicos convencionales.

Ya a finales de 2015, Colas e INES buscaron una empresa francesa que pudiera desarrollar el reto de la industrialización del proceso de producción de *Wattway*, siendo finalmente elegida una importante industria de plásticos y fotovoltaicos, SNA, en Tourouve.



III-14

Panel *Wattway*. © COLAS

<sup>25</sup> Fuente: ADEME/CEREN, 2014.

<sup>26</sup> RT2020: Reglamentación Térmica francesa aplicada a los edificios de nueva planta a partir de 2020 (a los públicos a partir de 2018), por la que deberán generar más energía de la que consumen.

<sup>27</sup> Fuente: ADEME, 2016.

<sup>28</sup> Fuente: INES, 2016.

Se espera que puedan llegar a producirse unos 150.000 m<sup>2</sup> de *Wattway* al año, pudiendo cubrir posibles necesidades de expansión. Está disponible en tamaños de entre veinte y cien metros cuadrados, tanto para entidades públicas como para clientes privados que quieran colaborar en la transición energética.

Son láminas muy finas, de unos pocos milímetros de espesor (figura III-15) Sistema posibilitando su adaptación a las dilataciones térmicas del pavimento, ya que van directamente pegadas a las carreteras existentes. De esta forma se instala sin tener que volver a construir ni rediseñar la estructura de las carreteras, disminuyendo el coste. Esto tiene sus desventajas porque al carecer de función estructural, si la infraestructura se mueve o se agrieta, *Wattway* también. En cualquier caso, no es difícil reemplazar una pieza dañada.



III-15

Panel *Wattway*. © COLAS – Joachim Bertrand

Garantizan la adherencia de los vehículos, por lo que estas superficies seguirían cumpliendo su función original de por ejemplo carretera, carril bici o aparcamiento, mientras que generan energía limpia localmente.



III-16

Panel *Wattway*. © COLAS – Joachim Bertrand



Las superficies deberán cumplir una serie de requisitos previos como estar en buenas condiciones, tener un adecuado diseño de pavimentación y textura apropiada para la aplicación. La conexión para transmitir la electricidad producida se dispone en la parte inferior, en la que se asegura que el diseño del sistema eléctrico garantice que no cortocircuitaría en caso de no funcionar alguna de las células.



III-17

Espacio para el cableado en *Wattway*. © COLAS – Joachim Bertrand

Cada panel mide 1,70 x 0,70 metros, pesa 9 kg y tiene células de silicio policristalino de 15 centímetros que transforman la energía solar en electricidad y su tamaño puede adaptarse a distintas superficies. Estas células son muy frágiles, por lo que se cubren con un sustrato de varias capas compuestas por resinas y polímeros lo suficientemente resistentes como para soportar grandes vehículos, y traslúcidos para dejar pasar la luz del sol hacia las células. La capa superior se trata para que iguale el agarre del asfalto, siendo además estanca al agua.

#### Carretera solar

El 22 de diciembre de 2016, fue inaugurado en Normandía el primer kilómetro de carretera solar en el mundo (figura III-18), de *Wattway*, por la ministra de Medioambiente de Francia, Ségolène Royal. Este proyecto se adapta perfectamente a la ley de transición energética francesa y la electricidad producida se enviará a la red Enedis (la que proporciona electricidad a Francia). Unos 5.714 paneles fueron instalados.



III-18

Alimentación red Enedis en Tourouve, Francia. 2.800m<sup>2</sup> de *Wattway*. © COLAS

También en diciembre de 2016 se inauguró una instalación experimental de *Wattway* en Georgia, Estados Unidos, en un tramo de carretera conocido como “la carretera en memoria de Ray C. Anderson”. Se han instalado cincuenta y cinco metros cuadrados que alimentarán de energía al Centro de Información de Visitantes de Georgia en West Point. Han construido en varios lugares, principalmente en Francia, estaciones de carga de vehículos eléctricos (figura III-19) e instalaciones para el autoconsumo en viviendas, aparcamientos de supermercados, piscinas y oficinas.



III-19

Instalación en Le Port, Francia. 25m<sup>2</sup> de *Wattway*. © COLAS – Hervé DOURIS

En el pabellón principal de la ASTANA Expo 2017 de Energía del Futuro se exhibirá un panel fotovoltaico de *Wattway* desde junio hasta septiembre. Es un evento internacional diseñado para apelar al sentido de responsabilidad comunitaria del tema central del año, la Energía del Futuro, que se centra en los conceptos de eficiencia y ahorro de energía.

Con los grandes retos en cuanto a recursos por la contaminación, la congestión de los medios de transporte, el tratamiento de los residuos y la superpoblación, aparece una tendencia hacia las ciudades inteligentes o *Smart Cities*<sup>29</sup>, en las cuales las carreteras solares de *Wattway* podrían ocupar un papel muy importante. A corto plazo, suponen eficiencia energética al aprovechar las superficies existentes para generar electricidad de forma descentralizada evitando pérdidas de energía al transportarse, y a largo plazo, cargar los vehículos eléctricos en movimiento.

<sup>29</sup> Diseñada combinando el potencial de las nuevas tecnologías, las energías renovables y las innovaciones en la construcción de edificios e infraestructura pública, utilizando los recursos locales, con la finalidad de producir más energía de la que consumen.



## Solmove

La idea de *Solmove* nació en 2012 en Alemania: desarrollar una solución fotovoltaica innovadora en superficies horizontales rápida y eficaz que mejore la seguridad en las carreteras a la par que genere energía limpia. Así, en 2014 se fundó la *Solmove GmbH*<sup>30</sup>, formada por ingenieros alemanes junto con institutos de renombre y empresas de los campos del vidrio, la construcción de carreteras y la energía solar. El equipo de *Solmove* está formado por el ingeniero Donald Mueller Judex (fundador y responsable de la organización, financiación, desarrollo del producto y comunicación), su socio Andreas Horn (responsable de la gestión de proyectos, garantía de calidad y desarrollo de sistemas) y el ingeniero Hasta Nadolny (director de producción, responsable de la gestión de proyectos de producción, la calidad y desarrollo y la gestión de proveedores).

Equipo

Se calcula que hay mil cuatrocientos kilómetros cuadrados aptos para la disposición de captadores solares horizontales en Alemania (vías no sombreadas de entre 1 y 10 metros de ancho y con tráfico no muy intenso), frente a mil doscientos kilómetros cuadrados de cubiertas de edificios. Si el espacio entre las vías del ferrocarril alemán se ocupara con estos captadores, se estima que se cubriría un 25 % de las necesidades de electricidad de este.

Alemania podría convertirse en un país referente en el campo de la energía solar junto con Estados Unidos, Holanda y Francia. Destacan por la rapidez de instalación al ser desplegado como si fuera una alfombra de azulejos de vidrio flexible (figura III-20) de 8 cm y 5 mm de espesor.

Sistema



III-20

Panel de vidrio flexible. *Solmove*

Estas pequeñas piezas están conectadas entre sí, y sus juntas pueden estar abiertas, filtrándose el agua entre ellas o cerradas, drenando el agua hacia los

<sup>30</sup> GmbH (Gesellschaft mit beschränkter Haftung): sociedad con responsabilidad limitada, similar a una sociedad limitada en España.

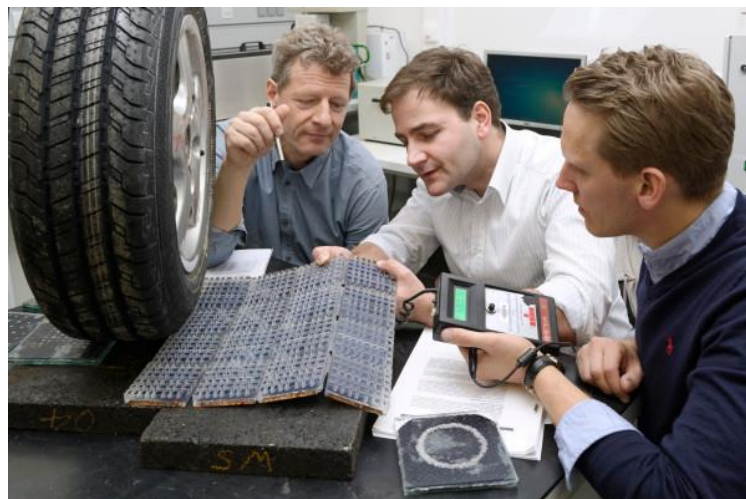
laterales y mejorando su función de autolimpieza. Esta alfombra se adapta a la superficie receptora mediante una composición de textiles, goma elástica que además absorbe el sonido y cables para transmitir la energía. Se expande como si fuera césped, es una red flexible que acelera el proceso al no tener que demoler la infraestructura previa ya que la utiliza, evitando retenciones de tráfico innecesarias durante su instalación.

También proponen el uso de luces led para mejorar la seguridad de los usuarios y sistemas para evitar la adhesión del hielo al tener módulos de calentamiento unidos a las propiedades hidrofóbicas del vidrio, reduciendo gastos de mantenimiento en invierno. En cualquier caso, las máquinas quitanieves deberán tener las palas de plástico y no metálicas, para no dañar los módulos.

Destaca su capacidad de ser reciclado, ya que se puede enrollar de nuevo, retirar como si de un velcro se tratase y comenzar el proceso de reciclaje adecuado para el sistema. De todas formas, a su vidrio apenas le afecta la suciedad y el desgaste por lo que dirige la luz recibida desde distintos ángulos hacia las células solares de silicio sin disminuir su eficiencia.

Comenzaron haciendo pruebas con un prototipo de laboratorio de 35x35 centímetros (figura III-21) y su intención es optimizar la producción de energía demostrando que el uso de las carreteras como tal y como generadoras de energía, tiene un mayor potencial que los paneles solares en cubiertas de edificios.

III-21



Prototipo de laboratorio. *Solmove*



Así, los objetivos de *Solmove GmbH* para mediados de 2017 son una producción energética de 100 kWh/m<sup>2</sup> por año, de manera que 1 km<sup>2</sup> abastecería aproximadamente a 150 hogares medios alemanes, y solamente necesitaría un 20% más de espacio que los paneles en las cubiertas para competir con ellos.<sup>31</sup> Cuentan con una resistencia mecánica de hasta 11,5 toneladas por eje asegurando un agarre equivalente al del asfalto, así como la misma reflexión de luz que este, evitando deslumbramientos.

También destaca la autolimpieza de estas superficies mediante el efecto fotocatalítico, que reduce la concentración de óxidos de nitrógeno, y la hidrofobicidad de la superficie de vidrio al dotarse de nanopartículas, de manera que cuando llueve se limpia (también puede limpiarse con vehículos).

Se estima un coste de 250-350€/m<sup>2</sup>, amortizándose a los 12-16 años. Y en un período de unos 25 años de carretera solar se obtendría una ganancia de 200€/m<sup>2</sup> más que si esta hubiera sido una carretera convencional (además de mejorar el balance de emisiones de CO<sub>2</sub>).

Supondría por tanto producir energía renovable sin necesidad de ocupar nuevas superficies para ello sino dando doble uso a carreteras, aparcamientos y caminos, entre otros. Todo ello sin generar un impacto paisajístico (se calcula que cinco kilómetros de carretera solar equivalen a un aerogenerador, causando este un impacto paisajístico mucho mayor y ser muy peligroso para las aves).

Al igual que en los anteriores casos, al acercarse la producción al punto de consumo, no habría tantas pérdidas de transmisión de electricidad, y tampoco habría peligros eléctricos ya que las cargas que se manejan serían pequeñas. Esta electricidad se podría utilizar, por tanto, a nivel local o reabasteciendo las redes existentes, haciendo partícipes de la transición energética a la economía local, que podría involucrarse también en la construcción y mantenimiento de los paneles solares.

Las finanzas y planificación del trabajo se simplifican al ser a gran escala, frente a las instalaciones en cubiertas de edificios, que hay que adaptar a cada caso y a cada propietario. En cualquier caso, es necesaria la obtención de los permisos necesarios para desarrollar un proyecto.

Cada vez es más necesario desarrollar una tecnología como esta ya que la demanda de electricidad va en aumento y es necesaria la búsqueda de fuentes

<sup>31</sup> Fuente: Energie experten.

de energía alternativas, entre otros motivos, por el rechazo de la energía nuclear cuyo aporte hay que suplir (se conseguiría instalando captadores solares en el 15% de las carreteras)<sup>32</sup>. También por la tendencia a la movilidad en transportes eléctricos, lo que supone un aumento a largo plazo de un 15% de potencia, esto es 92 TWh adicionales.<sup>33</sup> Y si estas fuentes de energía alternativas no requieren de espacios libres para su desarrollo como es el caso de las carreteras solares, aprovechando ya superficies aptas que van mucho más allá de las cubiertas de los edificios, el proceso será más factible. Se trata de una oportunidad para financiar la construcción de carreteras, aparcamientos, pistas deportivas o carriles bici, entre otros, y todo ello produciendo energía limpia.

El proyecto está siendo apoyado por el Ministerio Federal de Economía y Energía (BMWi), quien encargó un estudio de evaluación de la tecnología con el fin de cuantificar los riesgos y comprobar su eficacia. Este estudio lo realiza el Instituto de Ingeniería de Carreteras (ISAC) de la Universidad de Aquisgrán junto con los socios de *Solmove*.

Cuentan con la sociedad Fraunhofer para la investigación y desarrollo de nuevos materiales, como vidrios cuya dureza y propiedades químicas los hacen aptos para su uso en la captación de energía solar en carreteras (Instituto de Investigación de Silicatos ISC), y para el desarrollo de la tecnología de sistemas de energía solar (Instituto de Investigación de Sistemas de Energía Solar ISE). También cuentan con el Centro de Investigación de Jülich, para la mejora en la resistencia al deslizamiento, y con el Instituto de Investigación de Carreteras de la Universidad Técnica de Aquisgrán, para la adaptación de aspectos de la construcción convencional de carreteras a la construcción de las que generan energía. La compañía JSJ Jodeit GmbH es la encargada de la producción y planificación de fusión de vidrios, y la propia *Solmove* GmbH, propulsora del proyecto, de la producción, el diseño y la comercialización de los módulos fotovoltaicos horizontales.

Desarrollan una estimación de gastos de un proyecto ejemplo de un carril bici de unos 1.000 metros cuadrados. El proceso consta de varias etapas, comenzando por la consulta en taller de todos los aspectos (3.200 €), seguido del análisis de las superficies adecuadas potenciales (2.500 €) y la determinación de la capacidad que necesitan el cliente y la red (5.000 €). Deben aclararse los intereses de los socios llegando a un tratado de cooperación (5.000 €), desarrollar un proyecto de programación dentro del presupuesto (5.000 €) y elaborar los contratos entre las partes del tratado (10.000 €). En el campo de la

<sup>32</sup> Según Donald Mueller Judex.

<sup>33</sup> Fuente: Agencia de Renovables, 2010.

ingeniería civil, habría que planificar el tráfico (10.000 €), redireccionándolo (5.000€), constituyendo así un total de 54.500 €.

Los gastos para los operadores por la construcción de la instalación, seguida de la conexión de la misma, estaría entorno a los 230.000 €, la facturación 1.000 €, al igual que el mantenimiento, las reparaciones y la limpieza. Por tanto, el resultado sería una producción de energía de 100.000 kWh, gastos anuales de 2.000 € y un beneficio después de 25 años de 210.000 €, es decir, un retorno de la inversión (ROI) del 3%.

El desarrollo de los captadores solares horizontales en Alemania, podría suponer su independencia energética, de manera que unos 60.000 millones de euros que se gastan en compras de petróleo al extranjero se quedarían en el país (alrededor de 100 millones de toneladas de petróleo se consumieron en 2012 a 120 \$ el barril)<sup>34</sup>. Además, el precio de la electricidad apenas sería influenciado por los acontecimientos internacionales, sería estable.

Apostar por un progreso hacia la movilidad eléctrica debe ir ligado a una producción limpia de energía y local en lo posible, para que los beneficios medioambientales sean realmente significativos, pudiendo llegar a cargar sus baterías mientras se conducen. Sin embargo, actualmente la movilidad eléctrica está ligada a procesos de transporte y conversión de energía muy poco eficientes.

Al reducirse las emisiones contaminantes tanto por la producción de energía limpia como por el posible paso a medios de transporte eléctricos, se disminuirían las muertes prematuras por la contaminación del aire (en 2010 supusieron una pérdida de 150 millones de euros en Alemania), ya que aproximadamente un 90% del total de gases contaminantes son emitidos por los motores diesel.<sup>35</sup>

*Solmove* fue nominado para el NEA (*Next Economy Award*)<sup>36</sup>, el cual les fue finalmente otorgado el 25 de noviembre de 2016, siendo descrito por su director general Donald Mueller Judex como “un reconocimiento increíble para nuestro concepto”. Preparan pequeñas instalaciones de prueba en Berlín, España, Los Ángeles, Pekín y Seúl. Pretenden, de esta manera, convertir las carreteras en plantas de energía solar.

<sup>34</sup> Fuente: Informe del 2012 de la Cámara de Industria y Comercio Colombo-Alemana.

<sup>35</sup> Fuente: Informe del 2014 de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico).

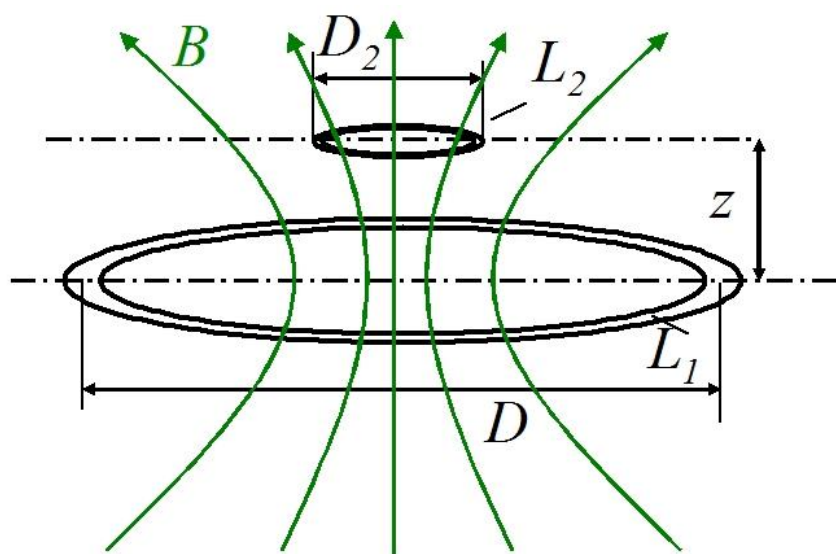
<sup>36</sup> El NEA es un premio para nuevas empresas cuyo fin es la sostenibilidad social y ambiental.

### 3.4 Transmisión inductiva de energía

La energía puede ser transferida sin necesidad de cableado mediante la transmisión inductiva de energía (IPT)<sup>37</sup>. Es la transmisión de energía eléctrica sin contacto, útil para alimentar maquinaria móvil y por tanto, la tecnología que podrá permitir que los coches se carguen mientras se conducen.

Se basa en el principio de inducción electromagnética. Se compone de dos bobinas ( $L_1$  y  $L_2$ ), que forman un sistema de inductores acoplados magnéticamente. Una de ellas es la bobina transmisora de energía, que genera un campo magnético que induce una tensión hacia la otra bobina, la receptora. Es esa tensión la que puede utilizarse para cargar, por ejemplo, baterías de móviles.

Su eficiencia viene determinada tanto por la calidad ( $Q$ ) de los inductores, como por el acoplamiento ( $k$ ) entre ellos. Este acoplamiento se calcula por la relación de  $D_2/D$  y la distancia entre los inductores ( $z$ ). También por la forma de las bobinas y el ángulo existente entre ellas.



III-22

Disposición típica de un sistema de transmisión inductiva de energía  
Fuente: *Wireless Power Consortium*

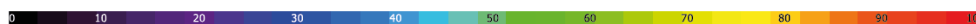
No requiere mantenimiento al no haber desgaste mecánico y puede utilizarse en cualquier condición climatológica al no tener superficies galvánicas de contacto. Otra ventaja es que existe la posibilidad de invertir el flujo de corriente. De esta manera, mientras un coche captador de energía está parado quitándole la posibilidad de captar energía a la superficie que está cubriendo, y sin utilizar la captada por él, podría pasar esta energía a la carretera y desde ahí distribuirse evitando pérdidas por ser almacenada.

<sup>37</sup> Sigla del inglés Inductive Power Transfer.

#### 4. PROYECTO DE APLICACIÓN EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA DE MADRID

Ante la propuesta de desarrollar proyectos para la Sostenibilidad de la Universidad Politécnica de Madrid en general y de la Ciudad Universitaria en particular, en su 90 aniversario, se plantea la posibilidad de implantar captadores solares en superficies horizontales de esta.

Es necesario identificar puntos estratégicos, y aunque la zona a estudiar será más acotada con la finalidad de concretar puntos, se elabora el mapa de soleamiento y radiación de toda la Ciudad Universitaria de Madrid mediante la herramienta *huellasolar*<sup>38</sup>. En estos mapas, los colores representan un porcentaje de horas de sol recibidas al año, según la siguiente escala, de 0 a 100%:



De esta forma tan visual pueden localizarse rápidamente zonas que están mucho más expuestas al sol que otras. Una vez pasado ese filtro, se analizan las condiciones reales de esos puntos, no siendo válidos, por ejemplo, al tratarse de una zona verde o un edificio. También se plantean puntos que, aunque no reciban la máxima cantidad de sol, serían convenientes por otros aspectos como una buena visibilidad, facilidad de implantación o clara mejora de la superficie previa.

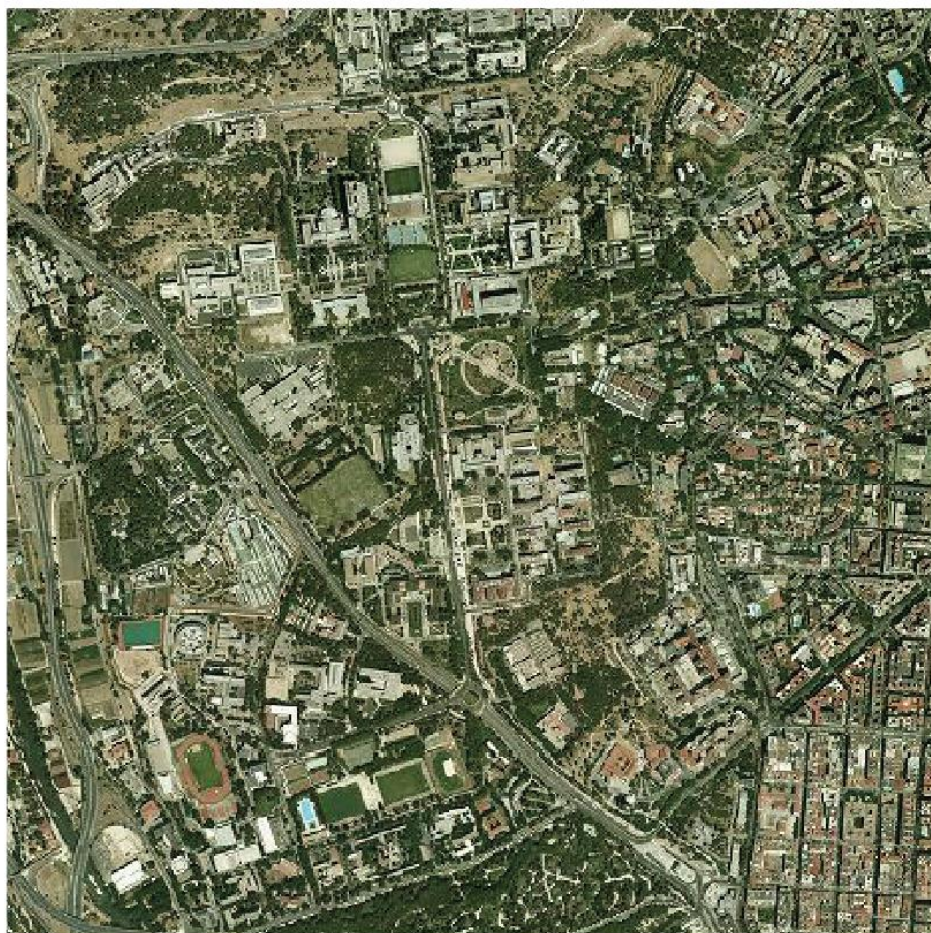
Primeramente, para acotar el área de actuación, se decide estudiar el entorno de la estación de metro *Ciudad Universitaria* por tratarse de un foco de actividad, un lugar de paso obligado para todos aquellos que se trasladan a la Ciudad Universitaria en metro. De esta forma, una instalación de captadores horizontales de energía solar se daría a conocer a un público muy amplio del ámbito universitario y resultarían especialmente útiles algunas de las muchas posibilidades de aplicación, como carril bici (mejorando el existente), carga de bicicletas y vehículos eléctricos, zonas wifi, carga de móviles, etcétera.

A continuación, las ortofotos y los mapas de soleamiento de la Ciudad Universitaria en general y de la zona concreta de la que se determinarán diez puntos potenciales para la instalación de captadores horizontales de energía solar.

<sup>38</sup> Huellasolar es una aplicación web para la generación de mapas de soleamiento y radiación. Un proyecto coordinado por el arquitecto Alejandro Díaz Morales.

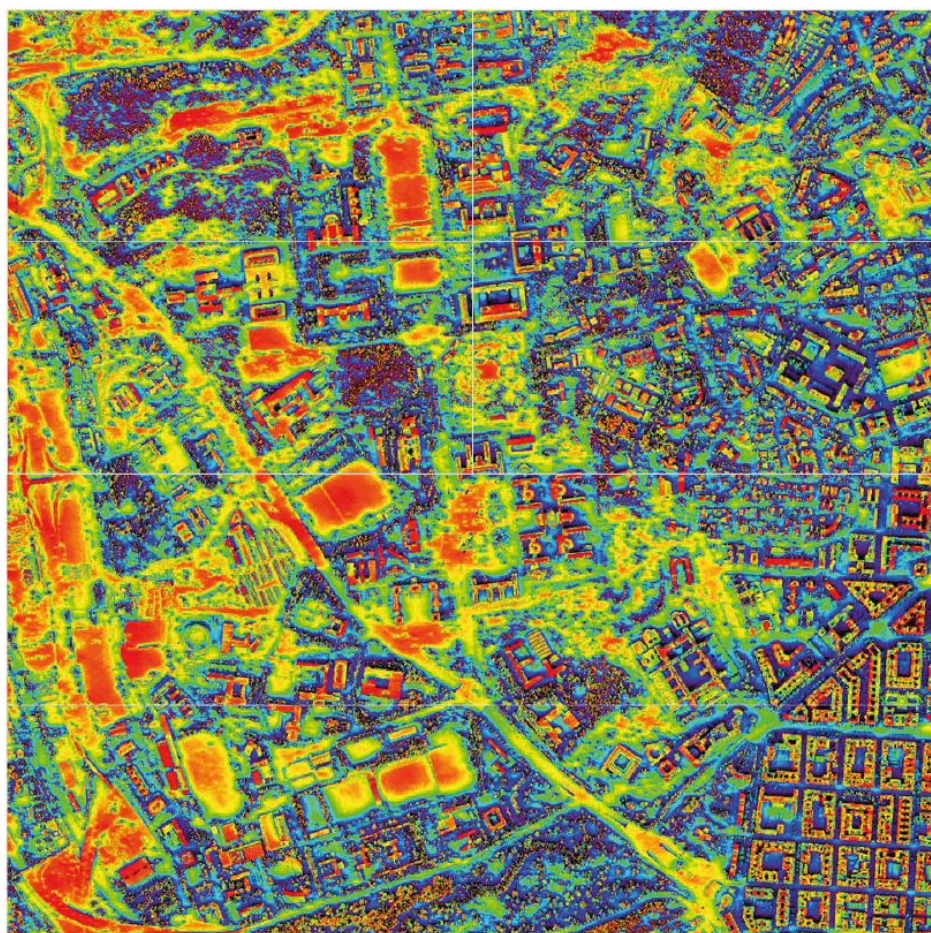


IV-1



Ortofoto de la Ciudad Universitaria de Madrid. Fuente: *Planea*

IV-2



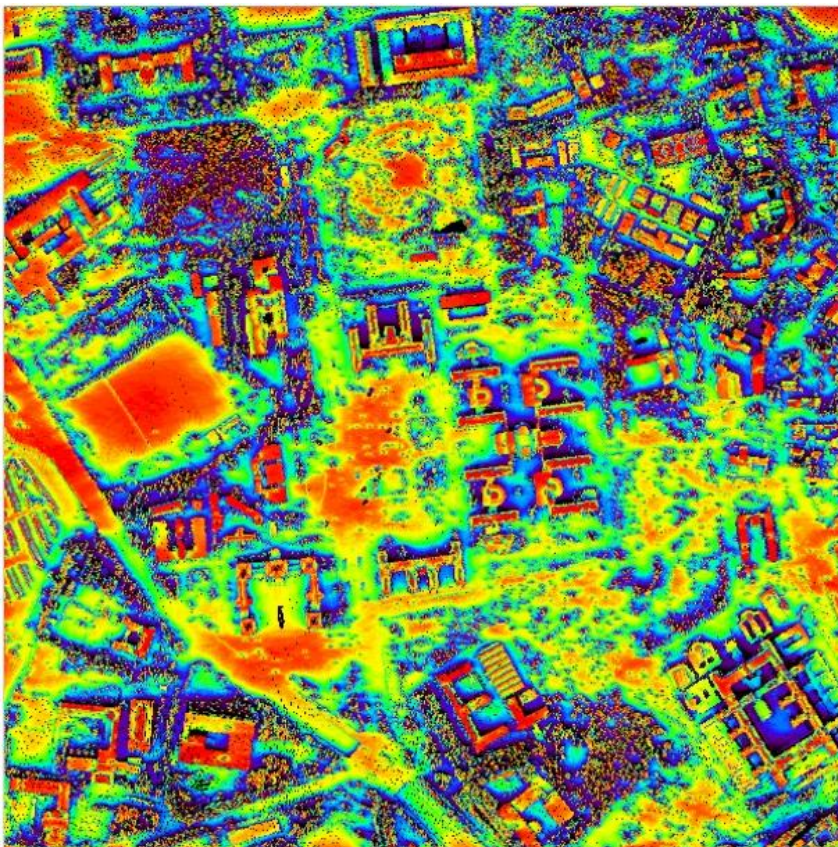
Mapa de soleamiento de la Ciudad Universitaria de Madrid. Elaboración propia.  
Herramienta: Huellasolar





IV-3

Ortofoto de la Ciudad Universitaria de Madrid zona sudoeste. Fuente: *Planea*



IV-4

Mapa de soleamiento de la Ciudad Universitaria de Madrid zona sudoeste. Elaboración propia.  
Herramienta: *Huellasolar*

Con la herramienta *huellasolar*, al seleccionar puntos del mapa realizado se obtienen sus datos de soleamiento en una tabla en que aparece:

- La media del número de horas de sol al día cada mes.
- La media del número de horas de sombra al día cada mes.
- Los porcentajes de sol recibido cada mes (%).
- El porcentaje de sol recibido anualmente (%).
- La media anual del número de horas de sol al día.

También puede obtenerse una tabla de estimación de datos de radiación en un punto o en áreas. Aparecen siempre los datos de radiación directa<sup>39</sup> y radiación difusa<sup>40</sup> en condiciones de cielo despejado. En caso de incluir en los datos del mapa índices de nubosidad, también aparecerá la radiación global<sup>41</sup>. En este mapa sí se han incluido a partir de datos de satélite proporcionados por satel-light obtenidos durante varios años y haciendo una media.

Se toman los datos de los siguientes diez puntos de la zona concretada de Ciudad Universitaria, cuyas tablas se incluyen a continuación:

- Punto 1: Aparcamiento de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura (ETSAM).
- Punto 2: Aparcamiento de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (ETSIAAB).
- Punto 3: Área libre en la intersección de la calle Arquitecto López Otero y la Avenida Complutense.
- Punto 4: Carretera de la Avenida Complutense.
- Punto 5: Mediana de la carretera de la Avenida Complutense.
- Punto 6: Próximo a la boca de metro de Ciudad Universitaria.
- Punto 7: Tramo intersección del carril bici junto a la facultad de Farmacia.
- Punto 8: Plaza de Ramón y Cajal, cerca del monumento de *Los portadores de la antorcha*.
- Punto 9: Aparcamiento *Ciudad Universitaria*.
- Punto 10: Rotonda central del Real Jardín Botánico Alfonso XIII.

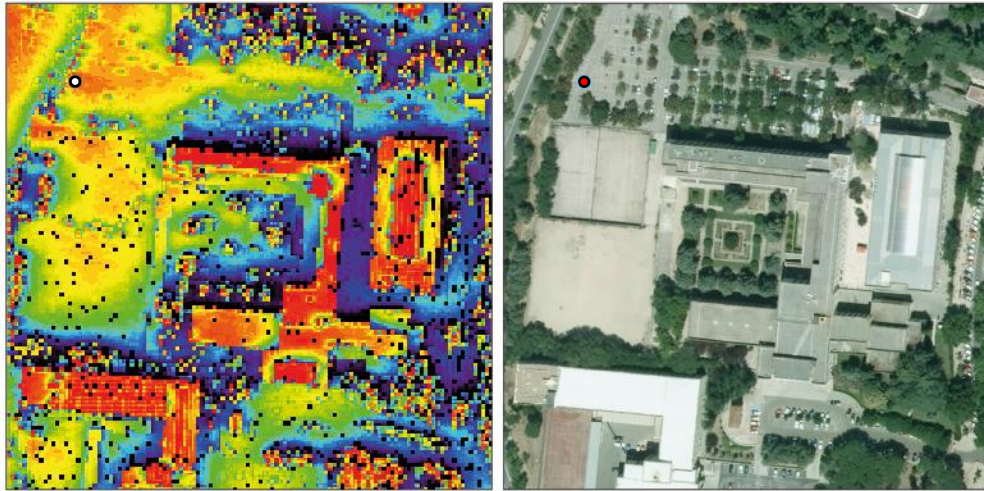
<sup>39</sup> La que proviene directamente del Sol.

<sup>40</sup> La que proviene de la atmósfera al dispersarse parte de la radiación solar por ella. Aumenta en días nublados.

<sup>41</sup> La suma de la radiación difusa y la radiación directa.



## Punto 1: Aparcamiento de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura



Fragmentos de las figuras IV-4 y IV-3 respectivamente (véase la página 51)

Soleamiento punto 1: Aparcamiento de la ETSAM												
Mes	Ene	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Horas de sol al día	8	8	11	12	13	13	13	12	12	9	8	8
Horas de sombra al día	1	2	0	1	1	1	1	1	0	2	1	1
Porcentaje de sol recibido	88.9	80.0	100.0	92.3	92.9	92.9	92.9	92.3	100.0	81.8	88.9	88.9
Porcentaje anual de sol recibido	91.4											
Media anual de horas de sol	11											

Tabla de soleamiento en el punto 1. Herramienta: *Huellasolar*

IV-5

Lon: -3.7324558 Lat: 40.4408991 Inclinación: 0 Azimut: 0												
Mes	Datos de radiación directa, difusa y global por mes y hora (W/m2 día)											
Jan	-	-	8	9	10	11	12	13	14	15	16	-
Dir	-	-	sombra	168.296	280.872	357.417	384.319	357.417	280.872	168.296	48.881	-
Dif	-	-	-	40.198	69.055	87.215	96.861	96.861	87.215	69.055	40.198	-
Global	-	-	-	32.681	187.033	269.440	342.526	357.308	342.809	262.446	168.519	-
Feb	-	-	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	-
Dir	-	-	sombra	sombra	336.833	443.741	501.084	501.084	443.741	336.833	197.445	-
Dif	-	-	-	46.307	79.859	101.309	113.252	118.384	113.252	101.309	79.859	-
Global	-	-	-	0.000	70.995	381.622	481.242	546.371	544.512	479.571	373.735	-
Mar	-	-	7	8	9	10	11	12	13	14	15	-
Dir	-	-	-	86.905	255.008	424.836	564.315	654.848	686.137	654.848	564.315	-
Dif	-	-	-	48.665	79.341	98.743	109.281	113.973	115.232	113.973	109.281	-
Global	-	-	-	117.675	297.571	470.174	602.868	683.482	692.383	655.804	573.904	-
Apr	-	-	6	7	8	9	10	11	12	13	14	-
Dir	-	-	sombra	182.439	361.18	531.532	668.987	757.599	788.147	757.599	668.987	-
Dif	-	-	-	38.645	78.555	106.152	122.466	130.358	133.262	133.889	130.358	-
Global	-	-	-	0.000	216.625	384.614	515.350	629.085	697.544	728.408	693.090	-
May	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	-
Dir	-	-	sombra	175.147	349.913	524.713	675.42	785.082	842.645	842.645	785.082	-
Dif	-	-	-	40.047	79.189	107.433	124.765	133.313	136.885	136.885	133.313	-
Global	-	-	-	0.000	199.399	362.218	515.686	644.560	709.478	772.849	781.665	-
Jun	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	-
Dir	-	-	sombra	187.689	351.306	514.904	656.297	759.387	813.556	813.556	759.387	-
Dif	-	-	-	56.444	98.290	128.698	147.595	157.159	160.740	161.557	161.557	-
Global	-	-	-	0.000	260.241	436.804	602.212	738.618	840.996	902.955	903.930	-
Jul	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	-
Dir	-	-	sombra	176.686	341.479	506.997	650.245	754.737	809.656	809.656	754.737	-
Dif	-	-	-	50.525	92.797	123.540	142.676	152.391	156.054	156.054	152.391	-
Global	-	-	-	0.000	257.356	444.558	623.686	764.912	872.538	920.168	927.900	-
Ago	-	-	6	7	8	9	10	11	12	13	14	-
Dir	-	-	sombra	174.866	334.902	489.71	615.848	697.621	725.881	697.621	615.848	-
Dif	-	-	-	57.872	106.743	141.202	162.260	173.074	177.495	178.584	177.495	-
Global	-	-	-	0.000	263.868	448.490	614.156	739.220	829.610	856.528	821.734	-
Sep	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	-
Dir	-	-	sombra	38.654	173.043	332.491	478.27	587.113	644.918	644.918	587.113	-
Dif	-	-	-	49.337	95.873	127.493	146.226	155.630	159.247	159.247	155.630	-
Global	-	-	-	0.000	237.184	398.346	542.063	640.244	689.974	691.582	631.332	-
Oct	-	-	7	8	9	10	11	12	13	14	15	-
Dir	-	-	sombra	sombra	282.965	405.194	486.432	514.775	486.432	405.194	282.965	-
Dif	-	-	-	32.909	85.891	116.900	135.358	144.588	147.318	144.588	135.358	-
Global	-	-	-	29.388	73.866	341.885	460.550	530.057	563.441	532.581	450.820	-
Nov	-	-	-	-	8	9	10	11	12	13	14	-
Dir	-	-	-	-	sombra	172.252	280.711	354.841	380.962	354.841	280.711	-
Dif	-	-	-	-	-	54.327	88.898	110.617	122.133	125.684	122.133	-
Global	-	-	-	-	-	43.353	201.869	291.539	360.592	378.465	353.915	-
Dec	-	-	-	-	8	9	10	11	12	13	14	-
Dir	-	-	-	-	sombra	140.842	247.857	321.428	347.38	321.428	247.857	-
Dif	-	-	-	-	-	25.780	63.606	82.401	92.500	95.642	92.500	-
Global	-	-	-	-	-	19.180	150.065	226.227	286.438	299.926	278.987	-
(Kwh/m2)	Radiación directa. Media											
(Kwh/m2)	Radiación directa. Total											
(Kwh/m2)	Radiación difusa. Media											
(Kwh/m2)	Radiación difusa. Total											
(Kwh/m2)	Radiación global. Media											
(Kwh/m2)	Radiación global. Total											

Tabla de estimación de datos de radiación en el punto 1. Herramienta: *Huellasolar*

IV-6



El punto 1 se estima recibe un 91,4% de sol al año y una radiación global total de 56,804 kWh/m<sup>2</sup>. Como aparcamiento, los captadores instalados no necesitarían ser muy complejos, permitir que se conduzca sobre ellos sería suficiente. Podría ser una estación de carga de bicicletas y vehículos eléctricos o simplemente para el abastecimiento energético de la escuela.



IV-7

Fotografía del aparcamiento de la ETSAM

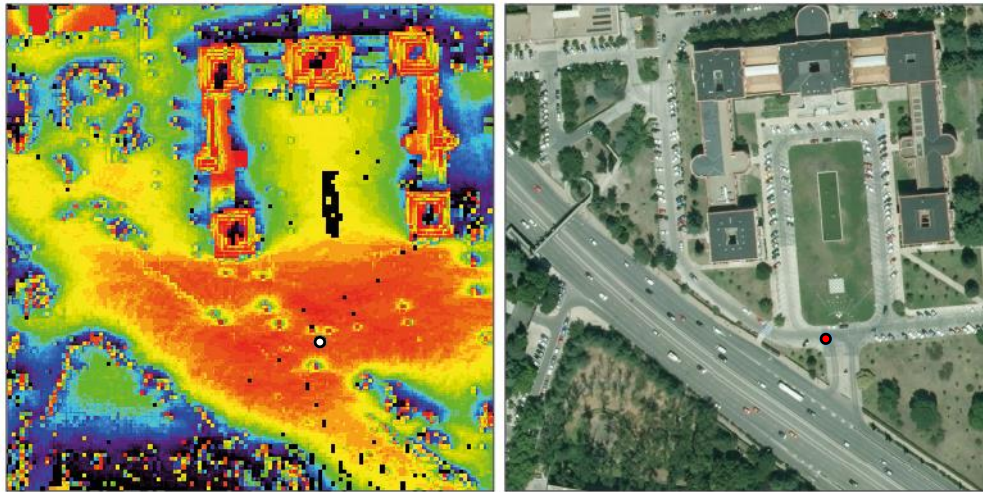


IV-8

Fotografía de la superficie del aparcamiento de la ETSAM



Punto 2: Aparcamiento de la ETSIAAB



Fragmentos de las figuras IV-4 y IV-3 respectivamente (véase la página 51)

Soleamiento punto 2: Aparcamiento de la ETSAAB												
Mes	Ene	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Horas de sol al día	8	9	11	13	14	14	14	12	12	9	8	7
Horas de sombra al día	1	1	0	0	0	0	0	1	0	2	1	2
Porcentaje de sol recibido	88.9	90.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	92.3	100.0	81.8	88.9	77.8
Porcentaje anual de sol recibido	94.2											
Media anual de horas de sol	11											

Tabla de soleamiento en el punto 2 Herramienta: *Huellasolar*

IV-9

Lon: -3.7282626 Lat: 40.4411104 Inclinación: 0 Azimut: 0																						
Mes	Datos de radiación directa, difusa y global por mes y hora (W/m2 día)													(Kwh/m2)								
Jan	-	-	-	8	9	10	11	12	13	14	15	16	-	Jan								
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.048								
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.686								
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.013								
Feb	-	-	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	-	Feb								
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.018								
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.918								
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.382								
Mar	-	-	-	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Mar							
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.661							
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.015							
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.940							
Apr	-	-	-	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Apr						
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.867						
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.353						
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.555						
May	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	May							
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.784						
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.516						
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.442						
Jun	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	Jun							
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.680						
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.821						
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.676						
Jul	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	Jul							
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.574						
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.750						
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.831						
Ago	-	-	-	-	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Ago				
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.400				
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.816				
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.642				
Sep	-	-	-	-	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5	17.5	18.5	Sep				
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.512				
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.468				
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.063				
Oct	-	-	-	-	-	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Oct				
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.150				
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.179				
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.656				
Nov	-	-	-	-	-	-	8	9	10	11	12	13	14	15	16	-	-	Nov				
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.056				
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.878				
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.199				
Dec	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.624				
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.648				
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.754				
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	57.047				
(Kwh/m2)	Radiación directa. Media											Radiación global. Media										
(Kwh/m2)	Radiación directa. Total											Radiación global. Total										

Tabla de estimación de datos de radiación en el punto 2. Herramienta: *Huellasolar*

IV-10

El punto 2 se estima recibe un 94,2% de sol al año y una radiación global total de 57,047 kWh/m<sup>2</sup>. Siendo también un aparcamiento, debe poderse conducir sobre él. Al ser un punto en que se cruzan varias trayectorias, sería interesante la captación de la energía de la masa de los vehículos en movimiento.



IV-11

Fotografía del aparcamiento de la ETSIAAB

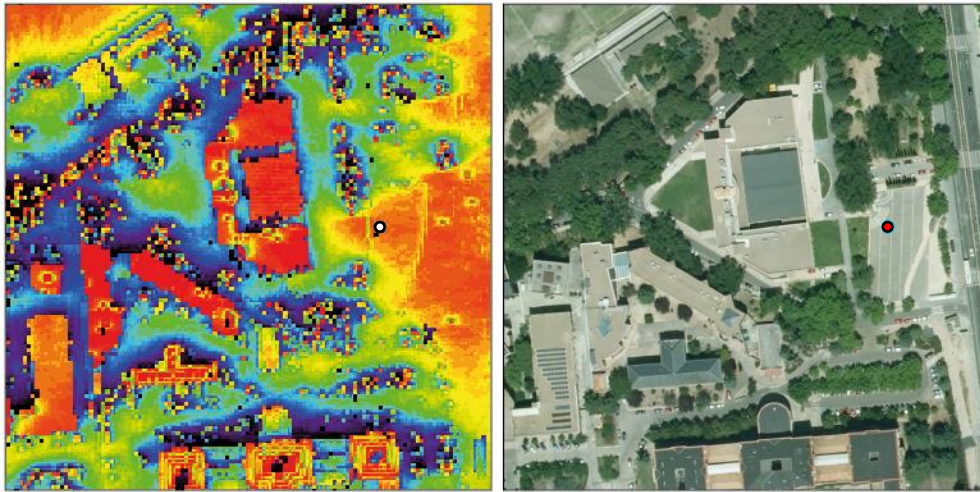


IV-12

Fotografía de la superficie del aparcamiento de la ETSIAAB



Punto 3: Área calle Arquitecto López Otero y la Avenida Complutense



Fragmentos de las figuras IV-4 y IV-3 respectivamente (véase la página 51)

Soleamiento punto 3: Área libre en la intersección de la c. Arquitecto López Otero y la Av. Complutense												
Mes	Ene	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Horas de sol al día	8	9	10	12	13	13	13	12	10	10	9	7
Horas de sombra al día	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	0	2
Porcentaje de sol recibido	88.9	90.0	90.9	92.3	92.9	92.9	92.9	92.3	83.3	90.9	100.0	77.8
Porcentaje anual de sol recibido	90.6											
Media anual de horas de sol	11											

IV-13

Tabla de soleamiento en el punto 3. Herramienta: *Huellasolar*

Lom: -3.7276963 Lat: 40.4433625 Inclinación: 0 Azimut: 0												
Mes	Datos de radiación directa, difusa y global por mes y hora (W/m2 día)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Jan	-	-	-	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Dir	-	-	-	48.922	168.409	281.035	357.608	384.519	357.608	281.035	168.409	sombra
Dif	-	-	-	40.192	69.050	87.210	96.856	99.834	96.856	87.210	69.050	40.192
Global	-	-	-	72.450	187.118	269.555	342.666	357.453	324.942	262.559	168.596	30.184
Feb	-	-	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5
Dir	-	-	58.254	197.585	337.035	443.981	501.342	501.342	443.981	337.035	197.585	sombra
Dif	-	-	46.303	79.854	101.305	113.248	118.381	118.381	113.248	101.305	79.854	46.303
Global	-	-	0.000	246.643	381.794	481.446	546.596	544.737	479.774	373.904	237.488	39.404
Mar	-	-	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Dir	-	-	86.985	255.173	425.062	564.58	655.135	686.431	655.135	564.58	425.062	255.173
Dif	-	-	48.663	79.339	98.741	109.280	113.971	113.971	109.280	98.741	79.339	48.663
Global	-	-	117.742	297.716	470.375	603.105	683.735	692.636	656.047	574.129	443.137	282.997
Apr	-	-	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Dir	-	-	35.913	182.594	361.418	531.828	669.32	757.953	788.507	757.953	669.32	531.828
Dif	-	-	38.647	78.554	106.151	122.465	130.357	133.889	133.889	133.261	122.465	106.151
Global	-	-	0.000	216.753	384.809	515.583	629.346	697.821	728.693	693.364	610.953	484.831
May	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5
Dir	36.974	175.308	350.159	525.02	675.77	785.457	843.032	843.032	785.457	675.77	525.02	350.159
Dif	40.050	79.190	107.433	124.764	133.313	136.318	136.885	136.885	136.318	133.313	124.764	107.433
Global	0.000	199.526	362.413	515.928	644.839	709.767	773.155	781.974	731.889	627.039	497.085	345.940
Jun	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5
Dir	54.622	187.877	351.584	515.249	656.687	759.806	813.989	813.989	759.806	656.687	515.249	351.584
Dif	56.448	98.292	128.698	147.595	157.159	160.739	161.557	161.557	160.739	157.159	147.595	128.698
Global	0.000	260.414	437.057	602.525	738.972	841.378	903.356	904.331	852.425	738.972	603.851	436.096
Jul	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5
Dir	45.249	176.863	341.746	507.331	650.624	755.145	810.078	810.078	755.145	650.624	507.331	341.746
Dif	50.529	92.798	123.540	142.675	152.390	156.054	156.907	156.907	156.054	152.390	142.675	123.540
Global	0.000	257.526	444.813	624.006	765.272	872.929	920.570	928.305	873.840	763.666	612.306	431.320
Ago	-	-	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Dir	-	-	44.54	175.05	335.182	490.059	616.245	698.044	726.312	698.044	616.245	490.059
Dif	-	-	57.874	106.743	141.201	162.259	173.072	177.494	178.583	177.494	173.072	162.259
Global	-	-	0.000	264.040	448.753	614.484	739.590	830.010	856.936	822.130	734.065	593.609
Sep	-	-	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5
Dir	-	-	sombra	173.207	332.743	478.584	587.464	645.287	645.287	587.464	478.584	332.743
Dif	-	-	49.336	95.871	127.490	146.224	155.628	159.245	159.245	155.628	146.224	127.490
Global	-	-	0.000	237.327	398.562	542.333	640.545	690.288	691.898	631.628	536.085	387.976
Oct	-	-	-	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Dir	-	-	-	23.945	142.194	283.178	405.463	486.732	486.732	405.463	283.178	142.194
Dif	-	-	-	32.895	85.887	116.896	135.354	144.585	144.585	135.354	116.896	85.887
Global	-	-	-	50.758	196.150	342.063	460.776	530.306	563.702	532.832	451.041	332.061
Nov	-	-	-	-	8	9	10	11	12	13	14	15
Dir	-	-	-	-	57.345	172.39	280.907	355.069	381.202	355.069	280.907	172.39
Dif	-	-	-	-	54.321	88.892	110.611	122.128	125.679	122.128	110.611	88.892
Global	-	-	-	-	89.109	201.971	291.681	360.761	378.640	354.080	284.634	195.700
Dec	-	-	-	-	8	9	10	11	12	13	14	15
Dir	-	-	-	-	32.121	140.939	248.003	321.603	347.565	321.603	248.003	140.939
Dif	-	-	-	-	25.767	63.600	82.396	92.495	95.637	92.495	82.396	63.600
Global	-	-	-	-	43.069	150.132	226.323	286.556	300.048	279.102	255.947	143.177
(kwh/m2)	Radiación directa. Media											
(kwh/m2)	Radiación directa. Total											
(kwh/m2)	Radiación difusa. Media											
(kwh/m2)	Radiación difusa. Total											
(kwh/m2)	Radiación global. Media											
(kwh/m2)	Radiación global. Total											

IV-14

Tabla de estimación de datos de radiación en el punto 3. Herramienta: *Huellasolar*

El punto 3 se estima recibe un 90,6% de sol al año y una radiación global total de 56,667 kWh/m<sup>2</sup>. Si bien no es óptimo, se encuentra en una zona generalmente no aprovechada. Además, es peatonal y se encuentra frente al metro, o sea que es una zona bastante expuesta y no necesitaría altas resistencias. Podría establecerse una estación de carga de móviles o una zona wifi.



IV-15

Fotografía del área libre junto a la Avenida Complutense

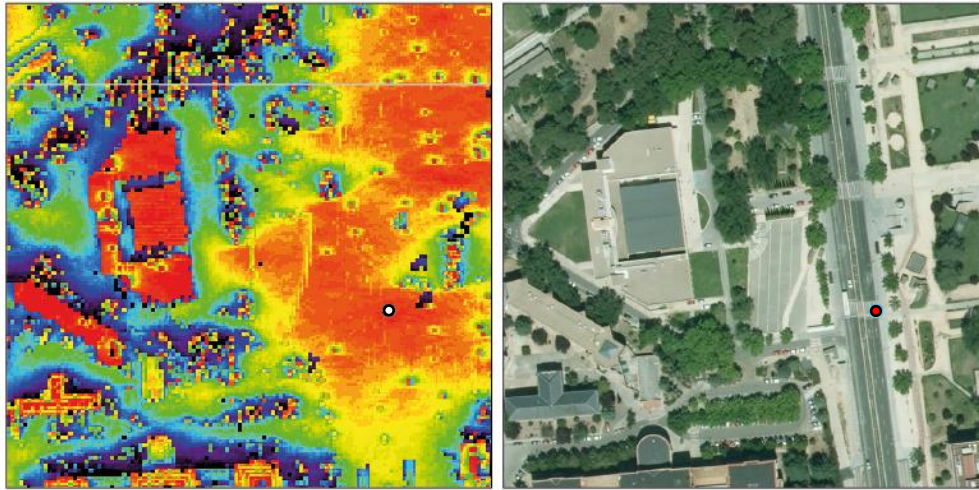


IV-16

Fotografía de la superficie del área libre junto a la Avenida Complutense



Punto 4: Carretera de la Avenida Complutense



Fragmentos de las figuras IV-4 y IV-3 respectivamente (véase la página 51)

Soleamiento punto 4: Carretera de la Avenida Complutense												
	Ene	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Horas de sol al día	9	10	10	13	13	13	13	13	12	9	9	8
Horas de sombra al día	0	0	1	0	1	1	1	0	0	2	0	1
Porcentaje de sol recibido	100.0	100.0	90.9	100.0	92.9	92.9	92.9	100.0	100.0	81.8	100.0	88.9
Porcentaje anual de sol recibido	95.0											
Media anual de horas de sol	11											

Tabla de soleamiento en el punto 4. Herramienta: *Huellasolar*

IV-17

Lon: -3.7269891 Lat: 40.4431289 Inclinación: 0 Azimut: 0												
Mes	Datos de radiación directa, difusa y global por mes y hora (W/m2 día)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Jan	-	-	-	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Dir	-	-	-	48.928	168.422	281.053	357.629	384.542	357.629	281.053	168.422	48.928
Dif	-	-	-	40.193	69.050	87.211	96.857	99.834	96.857	87.211	69.050	40.193
Global	-	-	-	72.455	187.128	269.569	342.682	357.469	324.957	262.572	168.605	66.930
Feb	-	-	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5
Dir	-	-	58.26	197.6	337.056	444.006	501.369	501.369	444.006	337.056	197.6	58.26
Dif	-	-	46.303	79.855	101.306	113.249	118.381	118.381	113.249	101.306	79.855	46.303
Global	-	-	0.000	246.657	381.813	481.468	546.620	546.620	479.797	373.923	237.501	88.983
Mar	-	-	7	8	9	10	11	12	13	14	15	17
Dir	-	-	sombra	255.188	425.083	564.606	655.163	686.46	655.163	564.606	425.083	255.188
Dif	-	-	48.663	79.340	98.741	109.280	113.972	115.231	113.972	109.280	98.741	79.340
Global	-	-	42.239	297.730	470.394	603.128	683.761	692.661	656.072	574.151	443.155	283.011
Apr	-	-	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Dir	-	-	35.917	182.606	361.438	531.853	669.949	757.984	757.984	669.949	531.853	361.438
Dif	-	-	38.646	78.554	106.152	122.465	130.357	133.261	133.889	133.261	122.465	106.152
Global	-	-	0.000	216.763	384.827	515.603	629.369	697.845	728.719	693.389	610.975	484.850
May	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5
Dir	sombra	175.32	350.177	525.045	675.799	785.488	843.065	843.065	785.488	675.799	525.045	350.177
Dif	40.050	79.190	107.433	124.764	133.313	136.318	136.005	136.885	136.318	133.313	124.764	107.433
Global	0.000	199.536	362.427	515.948	644.862	709.791	773.181	782.000	731.914	627.062	497.104	345.953
Jun	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5
Dir	sombra	187.891	351.605	515.276	656.719	759.841	814.025	814.025	759.841	656.719	515.276	351.605
Dif	56.448	98.292	128.698	147.595	157.159	160.739	161.557	161.557	160.739	157.159	147.595	128.698
Global	0.000	260.427	437.076	602.550	739.001	841.410	903.389	904.365	852.457	739.001	603.875	436.115
Jul	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5
Dir	sombra	176.876	341.766	507.357	650.655	755.179	810.113	810.113	755.179	650.655	507.357	341.766
Dif	50.529	92.798	123.540	142.675	152.390	156.054	156.907	156.907	156.054	152.390	142.675	123.540
Global	0.000	257.539	444.833	624.031	765.302	872.961	920.603	928.339	873.872	763.696	612.330	431.339
Ago	-	-	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Dir	-	-	445.45	1750.64	335.204	490.088	616.278	698.08	726.349	698.08	616.278	490.088
Dif	-	-	57.874	106.743	141.201	162.259	173.073	177.494	178.583	177.494	173.073	162.259
Global	-	-	0.000	264.053	448.774	614.511	739.622	830.044	856.971	822.164	734.096	593.636
Sep	-	-	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5
Dir	-	-	387.15	173.221	332.765	478.612	587.496	645.321	645.321	587.496	478.612	332.765
Dif	-	-	49.337	95.871	127.491	146.224	155.628	159.245	155.628	146.224	127.491	95.871
Global	-	-	0.000	237.339	398.582	542.358	640.573	690.318	691.927	631.655	536.109	387.996
Oct	-	-	-	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Dir	-	-	-	sombra	142.207	283.199	405.489	486.761	515.115	486.761	405.489	283.199
Dif	-	-	-	32.895	85.888	116.896	135.354	144.595	147.315	144.595	135.354	116.896
Global	-	-	-	29.375	196.162	342.081	460.798	530.331	563.728	532.856	451.063	332.079
Nov	-	-	-	-	8	9	10	11	12	13	14	15
Dir	-	-	-	-	57.352	172.405	280.927	355.094	381.227	355.094	280.927	172.405
Dif	-	-	-	-	54.322	88.892	110.612	122.129	125.679	122.129	110.612	88.892
Global	-	-	-	-	89.116	201.983	291.697	360.781	378.659	354.099	284.649	195.711
Dec	-	-	-	-	8	9	10	11	12	13	14	15
Dir	-	-	-	-	32.126	140.951	248.021	321.624	347.586	321.624	248.021	140.951
Dif	-	-	-	-	25.766	63.601	82.396	92.496	95.637	92.496	82.396	63.601
Global	-	-	-	-	43.072	150.141	225.336	286.571	300.062	279.117	224.353	143.186
(kwh/m2)	Radiación directa: Media											
(kwh/m2)	Radiación directa: Total											
(kwh/m2)	Radiación difusa: Media											
(kwh/m2)	Radiación difusa: Total											
(kwh/m2)	Radiación global: Media											
(kwh/m2)	Radiación global: Total											

Tabla de estimación de datos de radiación en el punto 4. Herramienta: *Huellasolar*

IV-18

El punto 4 se estima recibe un 95% de sol al año y una radiación global total de 57,121 kWh/m<sup>2</sup>. Al tratarse de una carretera, tendrán que ser captadores resistentes a grandes cargas, cizalladura y en resumen, cumplir la función previa. Al ser una fase de pruebas muy acotada, aún no pueden servir para la carga de vehículos eléctricos mientras se conduce, pero si se extendiera por toda la avenida, tal vez fuera posible.



IV-19

Fotografía de la carretera de la Avenida Complutense

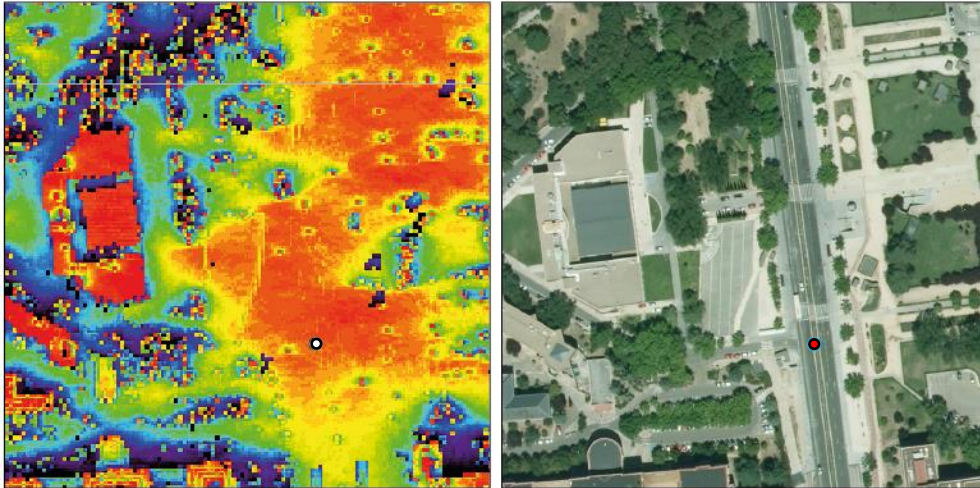


IV-20

Fotografía de la superficie de la carretera de la Avenida Complutense



Punto 5: Mediana de la carretera de la Avenida Complutense



Fragmentos de las figuras IV-4 y IV-3 respectivamente (véase la página 51)

Soleamiento punto 5: Mediana												
	Ene	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Horas de sol al día	7	9	11	12	14	14	14	13	10	10	7	5
Horas de sombra al día	2	1	0	1	0	0	0	0	2	1	2	4
Porcentaje de sol recibido	77.8	90.0	100.0	92.3	100.0	100.0	100.0	100.0	83.3	90.9	77.8	55.6
Porcentaje anual de sol recibido	90.6											
Media anual de horas de sol	11											

Tabla de soleamiento en el punto 5. Herramienta: *Huellasolar*

IV-21

Lon: -3.7271334 Lat: 40.4429834 Inclinación: 0 Azimut: 0												
Mes	Datos de radiación directa, difusa y global por mes y hora (W/m2 día)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Jan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Feb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Apr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
May	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jul	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ago	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sep	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oct	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dec	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(kwh/m2)	Radiación directa: Media											
(kwh/m2)	Radiación directa: Total											
(kwh/m2)	Radiación difusa: Media											
(kwh/m2)	Radiación difusa: Total											
(kwh/m2)	Radiación global: Media											
(kwh/m2)	Radiación global: Total											

Tabla de estimación de datos de radiación en el punto 5. Herramienta: *Huellasolar*

IV-22

El punto 5 se estima recibe un 90,6% de sol al año y una radiación global total de 56,791 kWh/m<sup>2</sup>. Aunque tiene algo de vegetación, es muy escasa, así que podrían disponerse captadores en casi toda la mediana menos tal vez en los cruces. La energía producida podría utilizarse para abastecer al sistema de tráfico y alumbrado.



IV-23

Fotografía de la mediana de la Avenida Complutense

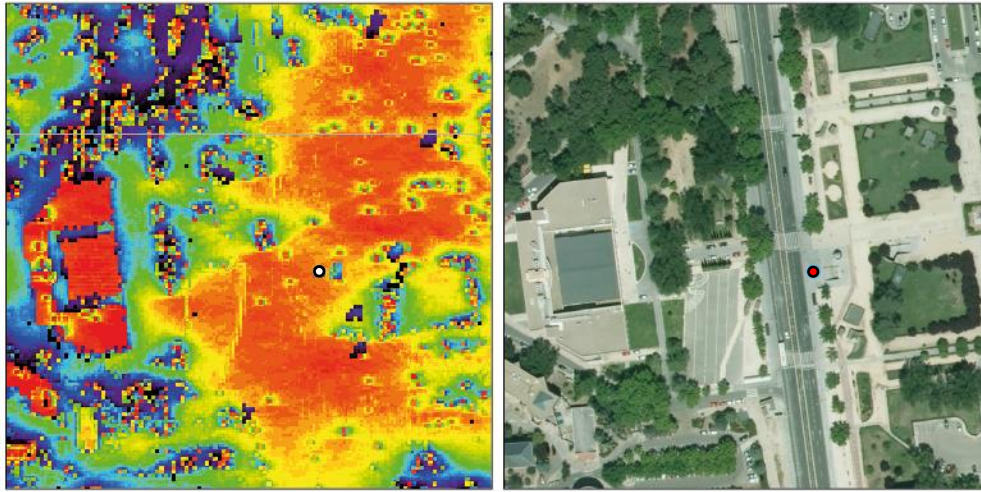


IV-24

Fotografía de la superficie de la mediana de la Avenida Complutense



## Punto 6: Próximo a la boca de metro de Ciudad Universitaria



Fragmentos de las figuras IV-4 y IV-3 respectivamente (véase la página 51)

Soleamiento punto 6: Próximo a la boca de metro de Ciudad Universitaria												
Mes	Ene	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Horas de sol al día	8	8	10	12	14	13	13	13	10	9	7	7
Horas de sombra al día	1	2	1	1	0	1	1	0	2	2	2	2
Porcentaje de sol recibido	88.9	80.0	90.9	92.3	100.0	92.9	92.9	100.0	83.3	81.8	77.8	77.8
Porcentaje anual de sol recibido	89.2											
Media anual de horas de sol	10											

Tabla de soleamiento en el punto 6. Herramienta: *Huellasolar*

IV-25

Lon: -3.7270040 Lat: 40.4435159 Inclinación: 0 Azimut: 0												
Mes	Datos de radiación directa, difusa y global por mes y hora (W/m2 día)											
Jan	-	-	-	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Dir	-	-	-	sombra	168.418	281.048	357.623	384.535	357.623	281.048	168.418	489.26
Dif	-	-	-	-	40.192	69.050	87.210	96.856	99.834	96.856	87.210	69.050
Global	-	-	-	-	32.676	187.125	269.565	342.677	357.464	324.952	262.568	166.928
Feb	-	-	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5
Dir	-	-	-	sombra	337.051	444	501.363	501.363	444	337.051	197.597	582.58
Dif	-	-	-	-	46.303	79.854	101.305	113.248	118.381	113.248	101.305	79.854
Global	-	-	-	-	0.000	70.990	381.808	481.462	546.614	547.791	373.918	237.498
Mar	-	-	-	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Dir	-	-	-	-	86.991	175.064	255.157	255.157	175.064	86.991	-	-
Dif	-	-	-	-	48.663	79.339	98.741	109.279	113.971	113.971	109.279	98.741
Global	-	-	-	-	117.748	70.612	470.391	603.123	683.755	692.655	574.146	443.153
Apr	-	-	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Dir	-	-	-	-	35.917	182.606	361.436	531.851	669.346	531.851	361.436	182.606
Dif	-	-	-	-	38.647	78.554	106.151	122.465	133.889	133.261	130.357	122.465
Global	-	-	-	-	0.000	216.763	384.824	515.601	629.366	697.842	728.716	693.385
May	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5
Dir	-	-	-	-	36.978	175.32	350.178	525.044	675.797	785.486	843.062	843.062
Dif	-	-	-	-	40.050	79.190	107.433	124.764	133.313	136.318	133.313	124.764
Global	-	-	-	-	0.000	199.536	362.428	515.948	644.861	709.780	773.178	781.998
Jun	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5
Dir	-	-	-	-	54.628	187.892	351.605	515.275	656.718	759.839	814.023	814.023
Dif	-	-	-	-	56.448	98.292	128.698	147.595	157.159	160.739	161.557	160.739
Global	-	-	-	-	0.000	260.427	437.076	602.549	739.000	841.408	903.387	904.363
Jul	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5
Dir	-	-	-	-	45.255	176.877	341.766	507.356	650.654	755.177	810.111	810.111
Dif	-	-	-	-	50.530	92.798	123.540	142.675	152.390	156.054	156.054	152.390
Global	-	-	-	-	0.000	257.540	444.833	624.030	765.301	872.959	920.601	928.337
Ago	-	-	-	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Dir	-	-	-	-	44.545	175.064	335.203	490.086	616.276	698.077	726.346	698.077
Dif	-	-	-	-	57.874	106.743	141.201	162.259	173.072	177.494	178.583	177.494
Global	-	-	-	-	0.000	264.053	448.773	614.509	739.619	830.041	856.968	822.161
Sep	-	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5
Dir	-	-	-	-	173.22	332.763	478.608	587.491	645.316	645.316	587.491	478.608
Dif	-	-	-	-	49.336	95.871	127.490	146.224	155.628	155.628	146.224	127.490
Global	-	-	-	-	0.000	237.338	398.579	542.354	640.569	690.313	691.922	631.651
Oct	-	-	-	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Dir	-	-	-	-	sombra	283.195	405.484	486.756	515.109	486.756	405.484	283.195
Dif	-	-	-	-	-	32.894	85.887	116.896	135.353	144.584	144.584	135.353
Global	-	-	-	-	-	29.374	73.863	342.078	460.793	530.326	563.722	532.851
Nov	-	-	-	-	-	8	9	10	11	12	13	14
Dir	-	-	-	-	-	sombra	172.401	280.922	355.088	381.221	355.088	280.922
Dif	-	-	-	-	-	-	54.321	88.891	110.611	122.128	122.128	110.611
Global	-	-	-	-	-	-	43.348	201.979	291.692	360.775	378.654	354.094
Dec	-	-	-	-	8	9	10	11	12	13	14	15
Dir	-	-	-	-	-	sombra	140.947	248.015	321.617	347.558	321.617	248.015
Dif	-	-	-	-	-	-	25.766	63.600	82.395	92.495	92.495	82.395
Global	-	-	-	-	-	-	19.170	150.137	226.331	286.566	300.058	279.111
[kwh/m2]	Radiación directa. Media											
[kwh/m2]	Radiación directa. Total											
[kwh/m2]	Radiación difusa. Media											
[kwh/m2]	Radiación difusa. Total											
[kwh/m2]	Radiación global. Media											
[kwh/m2]	Radiación global. Total											

Tabla de estimación de datos de radiación en el punto 6. Herramienta: *Huellasolar*

IV-26

El punto 6 se estima recibe un 89,2% de sol al año y una radiación global total de 56,386 kWh/m<sup>2</sup>. Al encontrarse a la salida del metro, es de los puntos más transitados de la Ciudad Universitaria. Es peatonal, aunque podrían pasar bicicletas. Si se instalan paneles con leds, podrían programarse para por ejemplo ser un reloj o publicitar marcas y acelerar así su autofinanciación.



IV-27

Fotografía de la boca de metro de Ciudad Universitaria

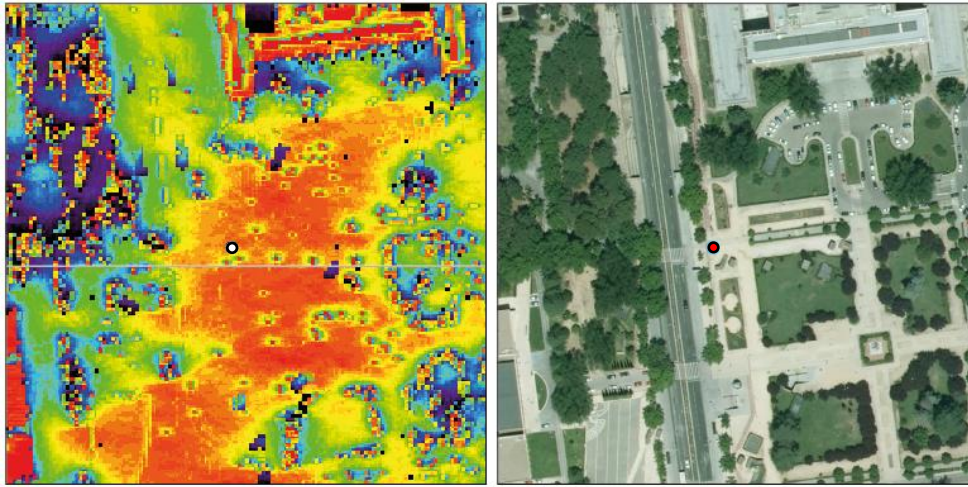


IV-28

Fotografía de la superficie junto a la boca de metro de Ciudad Universitaria



## Punto 7: Tramo intersección del carril bici de la Avenida Complutense



Fragmentos de las figuras IV-4 y IV-3 respectivamente (véase la página 51)

Soleamiento punto 7: Cruce del carril bici de la Avenida Complutense												
Mes	Ene	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Horas de sol al día	7	9	11	12	12	13	13	12	11	9	8	7
Horas de sombra al día	2	1	0	1	2	1	1	1	1	2	1	2
Porcentaje de sol recibido	77.8	90.0	100.0	92.3	85.7	92.9	92.9	92.3	91.7	81.8	88.9	77.8
Porcentaje anual de sol recibido	89.2											
Media anual de horas de sol	10											

Tabla de soleamiento en el punto 7. Herramienta: *Huellasolar*

IV-29

Lon: -3.7269580 Lat: 40.4441947 Inclinação: 0 Azimut: 0												
Mes	Datos de radiación directa, difusa y global por mes y hora (W/m2 día)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Jan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Feb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Apr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
May	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jul	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ago	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sep	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oct	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dec	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Kwh/m2)	Radiación directa. Media											
(Kwh/m2)	Radiación directa. Total											
	Radiación difusa. Media											
	Radiación difusa. Total											
	Radiación global. Media											
	Radiación global. Total											

Tabla de estimación de datos de radiación en el punto 7. Herramienta: *Huellasolar*

IV-30

El punto 7 se estima recibe un 89,2% de sol al año y una radiación global total de 56,307 kWh/m<sup>2</sup>. Se trata de un fragmento del carril bici interrumpido al estar en la dirección de un paso de cebra y un camino, pudiendo ser un punto conflictivo. Disponer captadores que cumplan la función de carril bici que genera energía, también diferenciaría ese tramo llamando más la atención y, por lo tanto, disminuyendo el riesgo de accidentes.



IV-31

Fotografía del tramo intersección del carril bici de Ciudad Universitaria

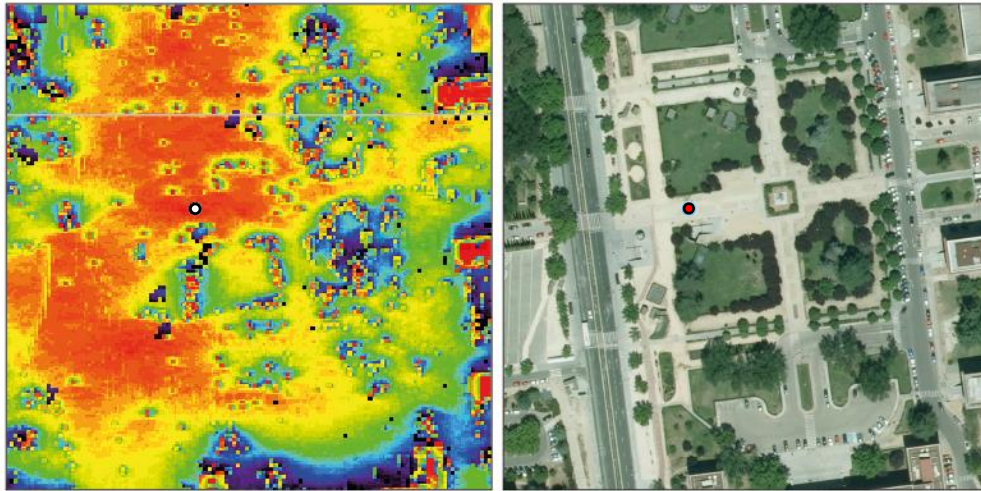


IV-32

Fotografía de la superficie del tramo intersección del carril bici de Ciudad Universitaria



Punto 8: Plaza de Ramón y Cajal, frente al monumento



Fragmentos de las figuras IV-4 y IV-3 respectivamente (véase la página 51)

Soleamiento punto 8: Plaza de Ramón y Cajal, cerca del monumento de <i>Los portadores de la antorcha</i>												
Mes	Ene	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Horas de sol al día	8	10	11	13	14	14	14	13	11	10	9	8
Horas de sombra al día	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
Porcentaje de sol recibido	88.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	91.7	90.9	100.0	88.9
Porcentaje anual de sol recibido	97.1											
Media anual de horas de sol	11											

Tabla de soleamiento en el punto 8. Herramienta: *Huellasolar*

IV-33

Lon: -3.7265958 Lat: 40.4437071 Inclinación: 0 Azimut: 0												
Mes	Datos de radiación directa, difusa y global por mes y hora (W/m2 día)											
Jan	-	-	-	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Dir	-	-	-	sombra	168.426	281.06	357.638	384.55	357.638	281.06	168.426	489.29
Dif	-	-	-	40.192	69.049	87.210	96.856	99.833	96.856	87.210	69.049	40.192
Global	-	-	-	32.676	187.130	269.574	342.688	357.475	324.963	262.577	168.607	66.930
Feb	-	-	-	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5
Dir	-	-	-	58.263	197.607	337.066	444.019	501.383	501.383	444.019	337.066	197.607
Dif	-	-	-	46.303	79.854	101.305	113.248	118.380	118.380	113.248	101.305	79.854
Global	-	-	-	0.000	246.663	381.821	481.479	546.611	544.772	479.807	373.930	237.507
Mar	-	-	-	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Dir	-	-	-	86.997	255.199	425.097	564.621	655.179	686.477	655.179	564.621	425.097
Dif	-	-	-	48.663	79.339	98.740	109.279	113.971	115.230	113.971	109.279	98.740
Global	-	-	-	117.753	297.739	470.406	603.141	683.774	692.675	656.085	574.163	443.166
Apr	-	-	-	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Dir	-	-	-	35.921	182.618	361.455	531.873	669.371	758.008	669.371	531.873	361.455
Dif	-	-	-	38.647	78.554	106.151	122.465	130.357	133.889	133.261	130.357	122.465
Global	-	-	-	0.000	216.773	384.840	515.618	629.386	697.864	728.737	693.407	610.992
May	-	-	-	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
Dir	-	-	-	36.983	175.333	350.196	525.068	675.824	785.515	843.092	785.515	675.824
Dif	-	-	-	40.051	79.190	107.433	124.764	133.313	136.318	136.885	136.318	133.313
Global	-	-	-	0.000	199.546	362.442	515.967	644.882	709.811	773.202	781.022	731.935
Jun	-	-	-	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
Dir	-	-	-	54.634	187.906	351.627	515.302	656.748	759.871	814.056	759.871	656.748
Dif	-	-	-	56.449	98.292	128.698	147.595	157.159	160.739	161.557	160.739	157.159
Global	-	-	-	0.000	260.440	437.096	602.573	739.028	841.438	903.418	904.393	852.485
Jul	-	-	-	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
Dir	-	-	-	45.26	176.891	341.787	507.382	650.683	755.208	810.143	755.208	650.683
Dif	-	-	-	50.530	92.799	123.540	142.675	152.390	156.054	156.907	156.054	152.390
Global	-	-	-	0.000	257.554	444.853	624.055	765.329	872.989	920.632	928.368	873.900
Ago	-	-	-	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Dir	-	-	-	44.551	175.078	335.225	490.113	616.306	698.109	726.379	698.109	616.306
Dif	-	-	-	57.874	106.743	141.201	162.259	173.072	177.494	178.583	177.494	173.072
Global	-	-	-	0.000	264.066	448.793	614.534	739.647	830.072	856.999	822.191	734.122
Sep	-	-	-	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5
Dir	-	-	-	38.719	173.232	332.782	478.632	587.518	645.345	645.345	587.518	478.632
Dif	-	-	-	49.336	95.871	127.490	146.224	155.628	159.245	155.628	146.224	127.490
Global	-	-	-	0.000	237.349	398.596	542.375	640.592	690.338	691.947	631.674	536.126
Oct	-	-	-	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Dir	-	-	-	sombra	142.214	283.211	405.505	486.779	515.133	486.779	405.505	283.211
Dif	-	-	-	32.893	85.887	116.895	135.353	144.584	147.314	144.584	135.353	116.895
Global	-	-	-	29.373	196.167	342.091	460.811	530.345	563.742	532.870	451.076	332.088
Nov	-	-	-	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Dir	-	-	-	57.354	174.412	280.937	355.105	381.239	355.105	280.937	174.412	57.354
Dif	-	-	-	54.320	88.891	110.611	122.127	125.678	122.127	110.611	88.891	54.320
Global	-	-	-	89.116	201.987	291.703	360.787	378.667	354.106	284.655	195.716	87.776
Dec	-	-	-	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Dir	-	-	-	sombra	140.954	248.027	321.631	347.594	321.631	248.027	140.954	321.26
Dif	-	-	-	25.764	63.600	82.395	92.494	95.636	92.494	82.395	63.600	25.764
Global	-	-	-	19.168	150.143	226.339	286.575	300.067	279.120	224.357	143.188	42.607
(Kwh/m2)	Radiación directa. Media											
(Kwh/m2)	Radiación directa. Total											
(Kwh/m2)	Radiación difusa. Media											
(Kwh/m2)	Radiación difusa. Total											
(Kwh/m2)	Radiación global. Media											
(Kwh/m2)	Radiación global. Total											

Tabla de estimación de datos de radiación en el punto 8. Herramienta: *Huellasolar*

IV-34

El punto 8 se estima recibe un 97,1% de sol al año y una radiación global total de 57,145 kWh/m<sup>2</sup>. La captación de energía sería muy elevada, pudiéndose utilizar para el alumbrado de la zona, así como ser una estación de carga de bicicletas eléctricas por su proximidad al carril bici.



IV-35

Fotografía de la plaza de Ramón y Cajal

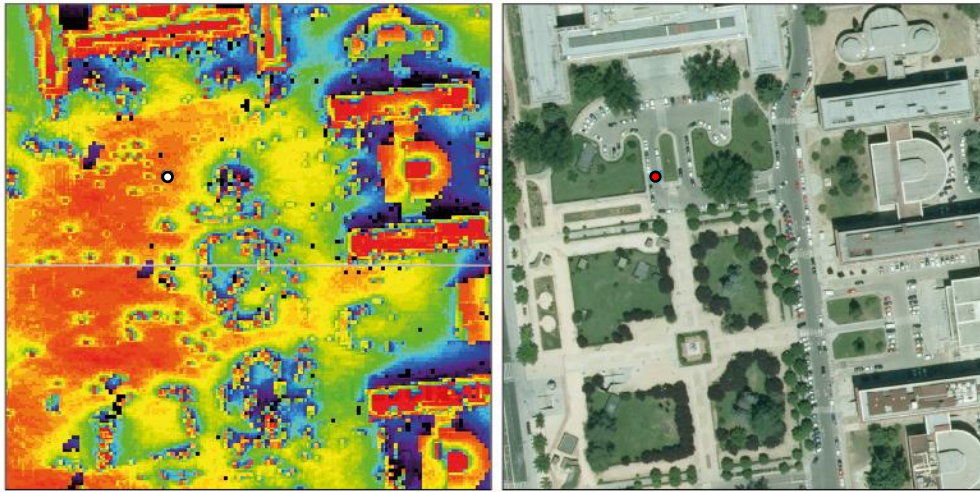


IV-36

Fotografía de la superficie de la plaza de Ramón y Cajal



## Punto 9: Aparcamiento Ciudad Universitaria.



Fragmentos de las figuras IV-4 y IV-3 respectivamente (véase la página 51)

Soleamiento punto 9: Aparcamiento "Ciudad Universitaria", frente a la Facultad de Medicina												
Mes	Ene	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Horas de sol al día	8	9	10	11	13	13	13	12	10	10	9	8
Horas de sombra al día	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	0	1
Porcentaje de sol recibido	88.9	90.0	90.9	84.6	92.9	92.9	92.9	92.3	83.3	90.9	100.0	88.9
Porcentaje anual de sol recibido	90.6											
Media anual de horas de sol	11											

Tabla de soleamiento en el punto 9. Herramienta: *Huellasolar*

IV-37

Lon: -3.7262595 Lat: 40.4445014 Inclinación: 0 Azimut: 0												
Mes	Datos de radiación directa, difusa y global por mes y hora (W/m2 día)											
Jan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Jan
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.048
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.686
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.013
Feb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Feb
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.018
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.918
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.382
Mar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Mar
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.574
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.865
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.649
Apr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Apr
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.353
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.404
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.747
May	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	May
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.516
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.443
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.636
Jun	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Jun
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.821
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.677
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.376
Jul	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Jul
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.401
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.816
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.643
Ago	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ago
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.401
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.816
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.643
Sep	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Sep
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.301
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.468
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.911
Oct	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Oct
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.175
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.179
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.676
Nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Nov
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.113
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.878
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.245
Dec	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Dec
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.801
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.624
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.672
(Kwh/m2)	Radiación directa. Media											
(Kwh/m2)	Radiación directa. Total											
(Kwh/m2)	Radiación difusa. Media											
(Kwh/m2)	Radiación difusa. Total											
(Kwh/m2)	Radiación global. Media											
(Kwh/m2)	Radiación global. Total											

Tabla de estimación de datos de radiación en el punto 9. Herramienta: *Huellasolar*

IV-38

El punto 9 se estima recibe un 90,6% de sol al año y una radiación global total de 56,760 kWh/m<sup>2</sup>. Como aparcamiento, podría ser estación de carga de coches eléctricos y bicicletas eléctricas, más si se desarrollara la conexión con el carril bici.



IV-39

Fotografía del aparcamiento Ciudad Universitaria

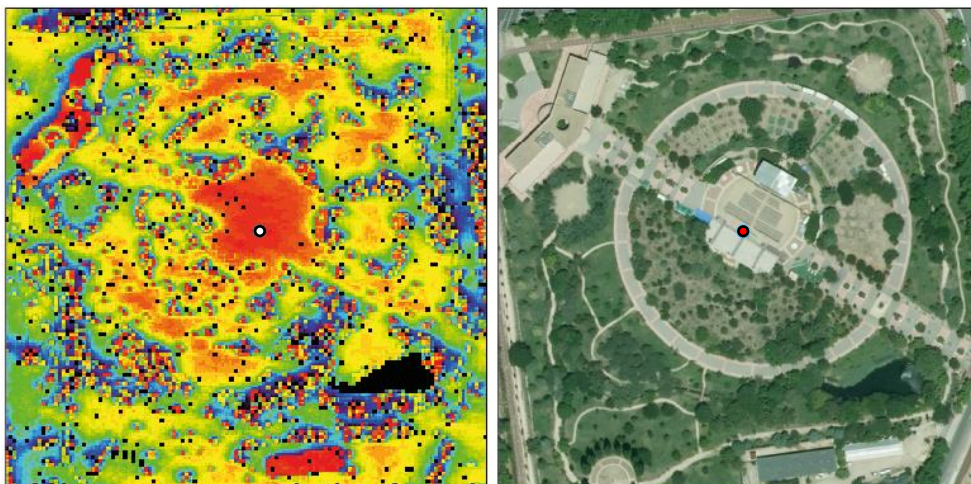


IV-40

Fotografía de la superficie del aparcamiento Ciudad Universitaria



## Punto 10: Rotonda central del Real Jardín Botánico Alfonso XIII



Fragmentos de las figuras IV-4 y IV-3 respectivamente (véase la página 51)

Soleamiento punto 10: Plaza circular del Jardín Botánico												
Mes	Ene	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Horas de sol al día	9	10	11	11	14	14	14	13	12	11	9	9
Horas de sombra al día	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Porcentaje de sol recibido	100.0	100.0	100.0	84.6	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Porcentaje anual de sol recibido	98.6											
Media anual de horas de sol	11											

Tabla de soleamiento en el punto 10. Herramienta: *Huellasolar*

IV-41

Lon: -3.7260670 Lat: 40.4473250 Inclinación: 0 Azimut: 0												
Mes	Datos de radiación directa, difusa y global por mes y hora (W/m2 día)											
Jan	-	-	-	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	48.91	168.396	281.022	357.596	384.507	357.596	281.022	168.396	48.91
Global	-	-	-	40.184	69.041	87.202	96.849	99.827	96.849	87.202	69.041	40.184
Global	-	-	-	72.433	187.100	269.540	342.652	357.438	324.928	262.544	168.580	66.910
Feb	-	-	-	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	58.251	197.587	337.039	443.986	501.347	443.986	337.039	197.587	58.251
Global	-	-	-	46.297	79.848	101.299	113.242	118.376	113.242	101.299	79.848	46.297
Global	-	-	-	0.000	246.640	381.792	481.445	546.596	544.737	479.773	373.902	88.970
Mar	-	-	-	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	86.994	255.19	425.081	564.6	655.154	686.45	655.154	564.6	425.081
Global	-	-	-	48.660	79.336	98.737	109.277	113.969	115.228	113.969	109.277	98.737
Global	-	-	-	117.748	297.728	470.389	603.120	683.750	692.650	656.062	574.143	443.150
Apr	-	-	-	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	182.628	361.461	531.874	660.967	758	788.554	660.967	531.874	361.461
Global	-	-	-	38.649	78.554	106.150	122.463	130.355	133.260	133.888	130.355	122.463
Global	-	-	-	0.000	216.781	384.844	515.618	629.381	697.857	728.729	693.400	610.988
May	-	-	-	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	36.998	175.354	350.216	525.083	675.834	785.521	843.096	785.521	675.834
Global	-	-	-	40.055	79.192	107.433	124.763	133.312	136.318	136.885	136.318	133.312
Global	-	-	-	0.000	199.564	362.458	515.978	644.889	709.816	773.205	782.025	731.940
Jun	-	-	-	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	54.654	187.932	351.652	515.324	656.766	759.886	814.069	814.069	759.886
Global	-	-	-	56.455	98.295	128.699	147.594	157.158	160.739	161.557	160.739	157.158
Global	-	-	-	0.000	260.467	437.119	602.592	739.043	841.451	903.430	904.405	852.499
Jul	-	-	-	5.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	45.277	176.914	341.81	507.402	650.699	755.221	810.154	810.154	755.221
Global	-	-	-	50.536	92.801	123.541	142.675	152.389	156.053	156.906	156.053	152.389
Global	-	-	-	0.000	257.578	444.876	624.074	765.343	873.000	920.641	928.378	873.912
Ago	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	44.562	175.094	335.239	490.124	616.313	698.114	726.382	698.114	616.313
Global	-	-	-	57.878	106.743	141.199	162.257	173.071	177.493	178.582	177.493	173.071
Global	-	-	-	0.000	264.081	448.805	614.543	739.653	830.075	857.001	822.195	734.127
Sep	-	-	-	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5	12.5	13.5	14.5
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	38.722	173.235	332.78	478.626	587.508	645.332	645.332	587.508	478.626
Global	-	-	-	49.336	95.868	127.486	146.221	155.625	159.242	159.242	155.625	146.221
Global	-	-	-	0.000	237.349	398.590	542.367	640.581	690.324	691.934	631.663	536.119
Oct	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	23.946	142.204	283.195	405.483	486.754	515.107	486.754	405.483	283.195
Global	-	-	-	32.889	85.881	116.889	135.347	144.579	147.309	144.579	135.347	116.889
Global	-	-	-	50.754	196.153	342.072	460.787	530.320	563.716	532.845	451.052	332.070
Nov	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dec	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dir	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Global	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(Kwh/m2)	Radiación directa. Media											
(Kwh/m2)	Radiación directa. Total											
(Kwh/m2)	Radiación difusa. Media											
(Kwh/m2)	Radiación difusa. Total											
(Kwh/m2)	Radiación global. Media											
(Kwh/m2)	Radiación global. Total											

Tabla de estimación de datos de radiación en el punto 10. Herramienta: *Huellasolar*

IV-42

El punto 10 se estima recibe un 98,6% de sol al año y una radiación global total de 57,235 kWh/m<sup>2</sup>. Al estar en el centro del Jardín Botánico, las máximas cargas serían probablemente de los vehículos para el mantenimiento de este. La energía obtenida podría destinarse al alumbrado del jardín y los sistemas de riego.



IV-43

Fotografía de la rotonda central del Real Jardín Botánico Alfonso XIII



IV-44

Fotografía de la superficie de la rotonda central del Real Jardín Botánico Alfonso XIII

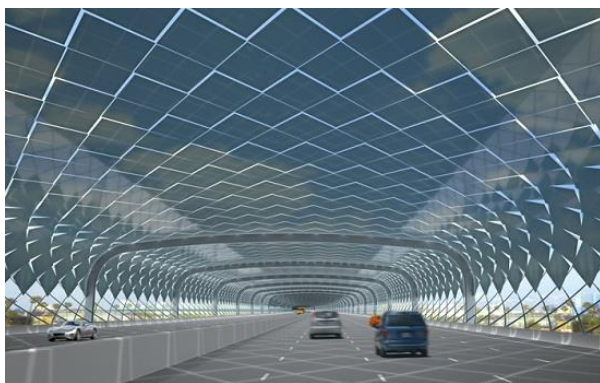


## 5. OTRAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Durante el proceso de búsqueda y reunión de información, aparecieron temas interesantes cuyo estudio excedía los límites del presente trabajo. Sin embargo, bien podrían llegar a complementar, o en algunos casos incluso sustituir, la cuestión que se trata.

La autopista recubierta de paneles solares proyectada en California (figura V-1), supondría las carreteras solares llevadas a cubierta, no teniendo por qué resistir grandes cargas y estando siempre expuestas al sol, al no ser tapadas por coches en ningún momento. Sí serían, al igual que las carreteras solares, grandes superficies que podrían formar redes y se encuentran próximas al punto de consumo. Producen sombra, algo a tener en cuenta. Podría aplicarse como alternativa a aquellos lugares en que las condiciones del pavimento no permiten la implantación de los captadores solares horizontales, o esta sería muy costosa, el impacto visual que esta cubierta genera fuera absorbible y beneficiosa la creación de sombras.

Cubierta solar



V-1

Cubierta solar en autopista de California. Fuente: *Veo verde*

También los coches que son en sí mismos captadores solares. Las ventajas son que no se desperdiciaría el sol que estos reciben no solo mientras circulan sino, y especialmente, cuando se encuentran parados como podría ser al estar aparcados, en un atasco o simplemente en un semáforo. Además, la energía que no captan las carreteras ese diez por ciento del tiempo que los vehículos las cubren, sería captada por estos. Y la electricidad generada podría ser directamente consumida en el caso de captarse estando en marcha, no habiendo necesidad de acumularla ni transportarla, por tanto no desperdiciando parte de esta, ni serle transferida tanta cantidad de la generada por las carreteras, pudiendo esta ser destinada a otros fines.

Coches captadores de energía

**Energía mecánica** Referido a las carreteras, pero desde otro punto de vista y otra fuente energética, es la captación de la energía generada por la masa de los vehículos en movimiento. Pero requiere de una obra más tediosa y costosa al tenerse que distribuir bajo una nueva superficie, además de que indirectamente apoya y fomenta el transporte del mayor número de vehículos posible, alejándose de la intención de impulsar el uso del transporte público y los vehículos compartidos para así disminuir las emisiones, los atascos y, en un futuro de transportes limpios, el consumo energético.

**Energía térmica** De igual manera, la captación de la energía térmica acumulada en estas superficies, que podría ser utilizada por ejemplo para calentar aguas industriales o incluso como apoyo a la calefacción de viviendas (aunque en ese caso los tiempos de más eficiencia son los de menor demanda).

También variantes en cuanto a la forma en que se instalan, pudiendo preverse una inclinación determinada para templar el tráfico o la formación de bandas sonoras, procedimientos que una vez implantados no consumirían energía.

**Plataformas flotantes** Otro exponente de la captación de energía solar son las plataformas flotantes, que no ocuparían espacio en tierra firme y nunca reciben sombra. Tendrían que desarrollarse teniendo en cuenta el impacto ambiental que podrían tener y que no pueden estar demasiado alejadas de la orilla, puesto que mucha distancia de transporte de energía supondría mucha pérdida de la misma.

**Energía hidráulica** Incluso en zonas en que llueva en abundancia podrían desarrollarse paralelamente instalaciones que aprovechen la energía hidráulica en la recogida de aguas, así como en cualquier presa.



## 6. CONCLUSIONES

Del trabajo desarrollado se obtienen las siguientes conclusiones:

La situación energética actual es insostenible, la tendencia debería ser invertir en la investigación de nuevas formas de captación de energía para que estas puedan desarrollarse lo antes posible y con las mayores garantías. Promover, potenciar y divulgar las energías limpias que van a cumplir las mismas funciones y a ofrecer los mismos servicios que las actuales pero sin causar tanto daño al medioambiente y mitigando los ya causados.

Si bien es cierto que la energía solar es una oportunidad clara para la obtención de electricidad mediante fuentes renovables y limpias que no está explotándose al máximo, es poco eficiente. Por ello, mientras se sigue en esta fase de experimentación, desarrollo de prototipos y toma de datos, es interesante plantear otras alternativas que, siendo igualmente respetuosas con el medioambiente, sean más eficientes. En cualquier caso, siempre será mejor gran cantidad de poca eficiencia proveniente de energías limpias que poca de gran eficiencia de los combustibles fósiles u otros procesos que son más perjudiciales.

En el caso de la captación de energía solar en superficies horizontales, al ser una tecnología que no está muy desarrollada ni optimizada, es necesario realizar análisis muy exhaustivos para determinar qué puntos serían realmente idóneos para la implantación de estas carreteras solares. Si dentro de unos años se autofinancian en un tiempo razonable dentro de su vida útil, habrá más flexibilidad y margen a la hora de elegir localizaciones aptas, por lo que un desarrollo a gran escala será una posibilidad. Es un sistema cuyos beneficios van a aumentar proporcionalmente con el aumento de las áreas en las que se distribuya y la conexión entre estas, por lo que una vez superada esta fase de interrogantes y poca eficiencia, el camino hacia la transición energética no será sino horizontal.



## 7. ÍNDICE DE FIGURAS

III-1: Paneles de vidrio sellados herméticamente. Solar Roadways® .....	21
III-2: Estacionamiento SR2. Solar Roadways® .....	23
III-3: SR libre de nieve. Solar Roadways® .....	24
III-4: Paneles SR3 con leds RGB. Solar Roadways® .....	26
III-5: Primera instalación pública de SR celebrando el Día de La Tierra. Solar Roadways® .....	29
III-6: Primera instalación pública de SR. Solar Roadways® .....	29
III-7: Carril bici en Krommenie, Holanda. SolaRoad Netherlands .....	31
III-8: Construcción de SolaRoad. SolaRoad Netherlands .....	32
III-9: Construcción de SolaRoad. SolaRoad Netherlands .....	32
III-10: SolaRoad. SolaRoad Netherlands .....	33
III-11: SolaRoad Kit. SolaRoad Netherlands .....	34
III-12: Prototipo de laboratorio de Wattway. © COLAS .....	36
III-13: Carretera solar Wattway. © COLAS – Joachim Bertrand .....	37
III-14: Panel Wattway. © COLAS – Joachim Bertrand .....	38
III-15: Panel Wattway. © COLAS – Joachim Bertrand .....	39
III-16: Panel Wattway. © COLAS – Joachim Bertrand .....	39
III-17: Espacio para cableado en Wattway. © COLAS – Joachim Bertrand .....	40
III-18: Alimentación red Enedis en Tourouve, Francia. 2.800m <sup>2</sup> de Wattway. © COLAS .....	41
III-19: Instalación en Le Port, Francia. 25m <sup>2</sup> de Wattway. © COLAS – Hervé DOURIS .....	41
III-20: Panel de vidrio flexible. Solmove .....	43
III-21: Prototipo de laboratorio. Solmove .....	44
III-22: Disposición típica de un sistema de transmisión inductiva de energía .....	48
IV-1:: Ortofoto de la Ciudad Universitaria de Madrid. Fuente: Planea .....	50
IV-2: Mapa de soleamiento de la Ciudad Universitaria de Madrid .....	50
IV-3: Ortofoto de la Ciudad Universitaria de Madrid. Fuente: Planea .....	51
IV-4: Mapa de soleamiento de la Ciudad Universitaria de Madrid zona sudoeste .....	51
IV-5: Tabla de soleamiento en el aparcamiento de la ETSAM .....	53
IV-6: Tabla de estimación de datos de radiación en el aparcamiento de la ETSAM .....	53
IV-7: Fotografía del aparcamiento de la ETSAM .....	54
IV-8: Fotografía de la superficie del aparcamiento de la ETSAM .....	54
IV-9: Tabla de soleamiento en el aparcamiento de la ETSIAAB .....	55
IV-10: Tabla de estimación de datos de radiación en el aparcamiento de la ETSIAAB .....	55
IV-11: Fotografía del aparcamiento de la ETSIAAB .....	56
IV-12: Fotografía de la superficie del aparcamiento de la ETSIAAB .....	56
IV-13: Tabla de soleamiento en el área libre de Av. Complutense .....	57
IV-14: Tabla de estimación de datos de radiación en el área libre de Av. Complutense .....	57
IV-15: Fotografía del área libre junto a la Avenida Complutense .....	58
IV-16: Fotografía de la superficie del área libre junto a la Avenida Complutense .....	58
IV-17: Tabla de soleamiento en la carretera de la Avenida Complutense .....	59
IV-18: Tabla de estimación de datos de radiación en la carretera de la Av. Complutense .....	59
IV-19: Fotografía de la carretera de la Avenida Complutense .....	60

IV-20: Fotografía de la superficie de la carretera de la Avenida Complutense .....	60
IV-21: Tabla de soleamiento en la mediana de la Avenida Complutense .....	61
IV-22: Tabla de estimación de datos de radiación en la mediana de la Av. Complutense .....	61
IV-23: Fotografía de la mediana de la Avenida Complutense .....	62
IV-24: Fotografía de la superficie de la mediana de la Avenida Complutense .....	62
IV-25: Tabla de soleamiento en el metro de Ciudad Universitaria .....	63
IV-26: Tabla de estimación de datos de radiación en el metro de Ciudad Universitaria .....	63
IV-27: Fotografía de la boca de metro de Ciudad Universitaria .....	64
IV-28: Fotografía de la superficie junto a la boca de metro de Ciudad Universitaria .....	64
IV-29: Tabla de soleamiento en el carril bici de la Av. Complutense .....	65
IV-30: Tabla de estimación de datos de radiación en el carril bici de la Av. Complutense .....	65
IV-31: Fotografía del tramo del carril bici de Ciudad Universitaria .....	66
IV-32: Fotografía de la superficie del tramo del carril bici de Ciudad Universitaria .....	66
IV-33: Tabla de soleamiento en Plza. de Ramón y Cajal .....	67
IV-34: Tabla de estimación de datos de radiación en Plza. de Ramón y Cajal .....	67
IV-35: Fotografía de la plaza de Ramón y Cajal .....	68
IV-36: Fotografía de la superficie de la plaza de Ramón y Cajal .....	68
IV-37: Tabla de soleamiento en Aparcamiento Ciudad Universitaria .....	69
IV-38: Tabla de estimación de datos de radiación en Aparcamiento Ciudad Universitaria .....	69
IV-39: Fotografía del aparcamiento Ciudad Universitaria .....	70
IV-40: Fotografía de la superficie del aparcamiento Ciudad Universitaria .....	70
IV-41: Tabla de soleamiento en la rotonda del Jardín Botánico .....	71
IV-42: Tabla de estimación de datos de radiación en la rotonda del Jardín Botánico .....	71
IV-43: Fotografía de la rotonda central del Real Jardín Botánico Alfonso XIII .....	72
IV-44: Fotografía de la superficie de la rotonda central del Real Jardín Botánico Alfonso XIII..	72
V-1: Cubierta solar en autopista de California .....	73

## 8. BIBLIOGRAFÍA

AA. VV. (2012) *Road nail: experimental solar powered Intelligent road marking system*. Journal of electrical engineering, vol. 63, nº 2, 65-74. Formato PDF.

A. Shekhar, S. Klerks, P. Bauer, V. Prasanth (2015). *Solar road operating efficiency and energy yield – an integrated approach towards inductive power transfer*. Artículo científico. Formato PDF.

Bourassi, Nabil (13-10-2015). *Colas veut transformer le bitume en réceptacle d'énergie solaire*. La Tribune. <http://www.latribune.fr/entreprises-finance/industrie/biens-d-equipement-btp-immobilier/colas-veut-transformer-le-bitume-en-receptacle-d-energie-solaire-513190.html> (junio 2017)

Bruce Northmore, Andrew (2014). *Panel de diseño de carretera Solar canadiense: Un análisis estructural y ambiental*. Universidad de Waterloo, Ontario, Canadá. Tesis para el grado de Máster en Ciencias Aplicadas en Ingeniería Civil. Formato PDF.

Chauvot, Myriam (13-10-2015). *Quand la route devient centrale photovoltaïque, une première mondiale française*. Les Echos. <https://www.lesechos.fr/industrie-services/immobilier-btp/021398624191-colas-lance-la-route-photovoltaïque-une-première-mondiale-1165007.php> (junio 2017)

Chua, Geraldine (5-12-2014). *Solar panels and self-healing concrete are what roads of the future will be made of*. Architecture&Design. <http://www.architectureanddesign.com.au/news/solar-panels-and-self-healing-concrete-are-what-ro> (junio 2017)

Coupeau, Chloé (22-12-2016). *Road paved with solar panels powers French town*. Phys.org <https://phys.org/news/2016-12-road-paved-solar-panels-powers.html> (junio 2017)

Cuthbertson, Anthony (7-6-2016). *Route 66 to get high-tech highway makeover*. Newsweek. <http://www.newsweek.com/route-66-solar-roadways-panel-highway-477984> (junio 2017)

Diana S. N. M. Nasir, Ben R. Hughes, John K. Calautit (2015). *CFD Simulation of Integrating Solar Roads in Urban Canyon*. Facultad de Ingeniería, Universidad de Sheffield. (.pdf)

ELN (11-5-2015). *Dutch bike solar road generated energy*. Energy Live News. <http://www.energylivenews.com/2015/05/11/dutch-bike-solar-road-generates-energy/> (junio 2017)

Equipo GCR (10-6-2016). *Solar paving to make first public US appearance on Route 66*. Global Construction Review. <http://www.globalconstructionreview.com/news/solar-paving-make-first-public-us-appearance/> (junio 2017)

F., Antonio (17-10-2009). *El carril bici de la Ciudad Universitaria, casi acabado*. Es por Madrid. <http://www.esporMadrid.es/2009/10/el-carril-bici-de-la-ciudad.html> (junio 2017)

Heppner, Daniel (10-5-2015). *Netherlands working on Solar Road Surfaces*. Gazette Review. <http://gazettereview.com/2015/05/netherlands-working-on-solar-road-surfaces/> (junio 2017)

Iglesias, Denís (2-1-2017). *Francia inaugura un kilómetro de vía solar con un coste de cinco millones*. El Mundo. <http://www.elmundo.es/motor/2016/12/28/58638c6b268e3ef52f8b4593.html> (junio 2017)

Kermeliotis, Teo (18-9-2014). *Solar-powered roads: Coming to a highway near you?* CNN. <http://edition.cnn.com/2014/05/12/tech/solar-powered-roads-coming-highway/> (junio 2017)

Kirsner, Scott (13-6-2014). *Bright future for solar roads?* The Boston Globe. <http://www.bostonglobe.com/business/2014/06/13/investors-see-bright-future-for-solar-firm-are-they-blinded-light/oO6fTWI8HAo6OmxUndiNqJ/story.html> (junio 2017)

Koch, Wendy (22-12-2016). *Will we soon be riding on solar roads? The idea gains traction.* National Geographic. <http://news.nationalgeographic.com/energy/2016/03/160310-will-we-soon-be-riding-on-solar-roads/> (junio 2017)

Larousserie, David y Olivier, Henri (23-11-2015). *Premiers rayons pour la route solaire.* Le Monde. [http://www.lemonde.fr/sciences/infographie/2015/11/23/premiers-rayons-pour-la-route-solaire\\_4815811\\_1650684.html](http://www.lemonde.fr/sciences/infographie/2015/11/23/premiers-rayons-pour-la-route-solaire_4815811_1650684.html) (junio 2017)

Laurent, Anthony (23-10-2015). *Colas trace sa route... solaire.* Le Moniteur. <http://www.lemoniteur.fr/articles/colas-trace-sa-route-solaire-30215815> (junio 2017)

Lee, Dave (13-5-2017). *Solar cycle lane exceeds expectation*. BBC News. <http://www.bbc.com/news/av/technology-32615964/solar-cycle-lane-exceeds-expectation> (junio 2017)

Leysen, Guy (13-5-2015). *Pilootfase Solaroad levert meer energie op dan verwacht.* Engineeringnet.nl. [http://www.engineeringnet.nl/detail\\_nederland.asp?Id=14472&titel=Piloot-fase%20Solaroad%20levert%20meer%20energie%20op%20dan%20overwacht&category=nieuws](http://www.engineeringnet.nl/detail_nederland.asp?Id=14472&titel=Piloot-fase%20Solaroad%20levert%20meer%20energie%20op%20dan%20overwacht&category=nieuws) (junio 2017)

Linch, Patrick (26-12-2016). *World's First Solar Panel Road Debuts in France.* ArchDaily. <http://www.archdaily.com/802338/worlds-first-solar-panel-road-debuts-in-france> (junio 2017)

Lugmayr, Luigi (11-5-2015). *70 meter solar road Surface generates enough power for a household.* I4U news. <https://www.i4u.com/2015/05/9114/70-meter-solar-road-surface-generates-enough-power-household> (junio 2017)

MacDonald, Fiona (11-5-2015). *Netherlands' Solar Road working better than expected.* Utah State University. <https://extensionsustainability.usu.edu/netherlands-solar-road-working-better-than-expected/> (junio 2017)

Mafi, Nick (28-6-2016). *Iconic Route 66 Set to Be America's First Solar Roadway.* ArchitecturalDigest. <http://www.architecturaldigest.com/story/iconic-route-66-americas-first-solar-roadway> (junio 2017)

Maillard, Guillaume (30-1-2017). *Wattway : la route solaire est-elle une bonne solution?* Automobile Propre. <http://www.automobile-propre.com/wattway-route-solaire-est-elle-bonne-solution/> (junio 2017)

Matellanes Ferreras, Roberto (2015). *Infraestructuras de comunicación: Densidad vial por municipio.* Geo innova. <https://geoinnova.org/blog-territorio/infraestructuras-de-comunicacion-densidad-viaria-por-municipio/> (junio 2017)

Meyer, Stephen J. (18-6-2014). *'Solar Freakin' Roadways' and the wisdom of small wins.* Forbes. <https://www.forbes.com/sites/stevemeyer/2014/06/18/solar-freakin-roadways-and-the-wisdom-of-small-wins/#54b707ae434b> (junio 2017)



Navaneeth K. Ramesh (2014). *Investigating the Impact of Solar Highways on Driver's Safety and Road Maintenance*. Tesis. Máster en Ciencias de la Universidad Estatal de Colorado. Formato PDF.

Nora, Dominique (13-10-2015). *La nouvelle route qui produit de l'énergie solaire*. L'Obs. <http://tempsreel.nouvelobs.com/economie/20151013.OBS7560/la-nouvelle-route-qui-produit-de-l-energie-solaire.html> (junio 2017)

Northmore, A., Tighe, S (2012). *Innovative Pavement Design: Are Solar Roads Feasible?*. Transportation Association of Canada. Conferencia. (.pdf)

Pérez, Leire (4-7-2016). *La Ruta 66 puede convertirse en la primera carretera solar*. 20 minutos. <http://www.20minutos.es/noticia/2785633/0/carreteras-solares/> (junio de 2017)

Poirot, Richard (25-11-2015). *Vous roulez sur des panneaux solaires*. Libération. [http://www.liberation.fr/futurs/2015/11/25/vous-roulez-sur-des-panneaux-solaires\\_1416133](http://www.liberation.fr/futurs/2015/11/25/vous-roulez-sur-des-panneaux-solaires_1416133) (junio 2017)

Rathi, Akshat (15-5-2015). *The day when roads will harness solar energy is drawing near*. Quartz. <https://qz.com/404847/the-day-when-roads-will-harness-solar-energy-is-drawing-near/> (junio 2017)

(7-5-2015). *Fietspad met zonnecellen in Noord- Holland levert meer op dan verwacht*. Groene Courant. <http://groenecourant.nl/wetenschap/fietspad-met-zonnecellen-in-noord-holland-levert-meer-op-dan-verwacht/> (junio 2017)

Song, Kerry. *The #1 eco Enterprise of the future*. Tony Robbins. <https://www.tonyrobbins.com/leadership-impact/the-1-eco-enterprise-of-the-future/> (junio 2017)

Tamblyn, Thomas (12-5-2015). *The world's first cycle path coated in solar panels could power homes*. Huffpost United Kingdom. [http://www.huffingtonpost.co.uk/2015/05/12/this-cycle-path-is-also-a-giant-solar-array-and-it-works-really-well\\_n\\_7263554.html](http://www.huffingtonpost.co.uk/2015/05/12/this-cycle-path-is-also-a-giant-solar-array-and-it-works-really-well_n_7263554.html) (junio 2017)

The Associated Press. *SolarRoad generates more power than expected*. CBC News. <http://www.cbc.ca/news/technology/solaroad-generates-more-power-than-expected-1.3069371> (junio 2017)

TheNextWeb (24-6-2016). *Missouri is about to experiment with power from an unlikely source: its roads*. Altenergymag. <http://www.altenergymag.com/story/2016/06/missouri-is-about-to-experiment-with-power-from-an-unlikely-source-%E2%80%94its-roads/23980/> (junio de 2017)

V. Rachkevich, I. Nichiporkov, S. Ostreiko (2016). *Solar Roads*. Universidad Nacional Técnica Bielorrusa. Minsk, Bielorrusia. (.pdf)

Von Otto Fritscher (29-11-2016). *Strom aus der Straße*. Süddeutsche Zeitung. <http://www.sueddeutsche.de/muenchen/starnberg/inning-strom-aus-der-strasse-1.3272617> (junio 2017)

Wakefield, Jane (2-10-2014). *Tomorrow's cities: Towards the congestion-free city*. BBC News. <http://www.bbc.com/news/technology-28106814> (junio 2017)

Williams, Oscar (4-10-2016). *These jazzy tiles can turn a road into an energy source. They look like an 80s disco floor*. Huffpos United Kingdom. [http://www.huffingtonpost.co.uk/entry/solar-roads-wants-to-transform-roads-into-energy-sources\\_uk\\_57f3afcoe4bo1e384a3e2641](http://www.huffingtonpost.co.uk/entry/solar-roads-wants-to-transform-roads-into-energy-sources_uk_57f3afcoe4bo1e384a3e2641) (junio 2017)

La primera instalación pública de Solar Roadways. Jeff Jones Town Square, Idaho, Estados Unidos. <http://www.cityofsandpoint.com/visiting-sandpoint/solar-roadways#ad-image-11> (junio 2017)

Worcester Polytechnic Institute (2008). *Solar collector could change asphalt roads into renewable energy source*. ScienceDaily. <https://www.sciencedaily.com/releases/2008/08/080812135702.htm> (junio de 2017)

*World's First Solar Cycle Path Is Performing Better Than Anticipated*. Ifl science. <http://www.iflscience.com/environment/worlds-first-solar-cycle-path-surprisingly-successful/> (junio 2017)

(7-5-2015). *Solaroad levert in pilotfase meer energie op dan verwacht*. TNO innovatie for life. <https://www.tno.nl/nl/over-tno/nieuws/2015/5/solaroad-levert-in-pilotfase-meer-energie-op-dan-verwacht/> (junio 2017)

(7-5-2015). *Zonnefietspad SolaRoad levert in eerste half jaar meer energie op dan verwacht*. Solar magazine. <https://solarmagazine.nl/nieuws-zonne-energie/i3520/zonnefietspad-solaroad-levert-in-eerste-half-jaar-meer-energie-op-dan-verwacht> (junio 2017)

(7-5-2015). *Zonnefietspad SolaRoad levert meer energie op dan verwacht*. Verkeers net. <https://www.verkeersnet.nl/15369/zonnefietspad-solaroad-levert-meer-energie-op-dan-verwacht/> (junio 2017)

(13-10-2015) *Colas dévoile sa "route solaire"*. Le Figaro. <http://www.lefigaro.fr/flash-eco/2015/10/13/97002-20151013FILWWW00106-colas-devoile-sa-route-solaire.php> (junio 2017)

<http://www.conductix.us> (junio 2017)

<http://www.huellasolar.com/?lang=es> (junio 2017)

<http://www.iesoe.eu/iesoe/> (junio 2017)

<http://www.ign.es/web/ign/portal/inicio> (junio 2017)

<https://www.indiegogo.com/projects/solar-roadways#/> (junio 2017)

<http://www.madrid.org/cartografia/visorCartografia/html/visor.htm> (junio 2017)

<https://www.nexteconomyaward.de/> (junio 2017)

<http://www.ree.es/es/actividades/gestor-de-la-red-y-transportista/> (junio 2017)

<http://www.ree.es/es/red21/refuerzo-de-las-interconexiones> (junio 2017)

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> (junio 2017)

<http://en.solaroad.nl/> (junio 2017)

<http://www.SolarRoadways.com> (junio 2017)

<http://www.Solmove.com/blog/> (junio 2017)

<http://www.Wattwaybycolas.com> (junio 2017)

<https://www.wirelesspowerconsortium.com/technology/basic-principle-of-inductive-power-transmission.html> (junio 2017)

*Wattway por Colas* (junio 2016). *Carpeta de prensa*. Formato PDF.

*Wattway por Colas* (enero 2017). *Ficha técnica*. Formato PDF.

*Wattway por Colas*. *Referencias: Sitios piloto en Francia y alrededor del mundo*. Formato PDF.

*SolaRoad* (septiembre 2015). *La carretera que convierte la luz del sol en electricidad*. Formato PDF.

*Solmove* (2016). *Superficies fotovoltaicas horizontales para ciudades*. Formato PDF.



